



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Toomas Tarmu

**PUISTU ÜLAKÕRGUSE MODELLEERIMINE PUISTU
KASVUKÄIGU PÜSIPROOVITÜKKIDE ANDMEIL**

**MODELLING OF TOP HEIGHT USING PERMANENT PLOT
DATA**

Magistritöö

Metsamajanduse erialal

Juhendaja: Professor Andres Kiviste, PhD.

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Toomas Tarmu		Õppekava: metsamajandus	
Pealkiri: Puistu ülakõrguse modelleerimine puistu kasvukäigu püsiproovitükkide andmeil			
Lehekülgi: 70	Jooniseid: 22	Tabeleid: 11	Lisasid: 2
Õppetool:	Metsakorralduse ja metsatööstuse õppetool		
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood:	B430; Bio- ja keskkonnateadused, metsandusteadus (puistu ehituse kasvukäigu modelleerimine)		
Juhendaja(d):	Professor Andres Kiviste, PhD.		
Kaitsmiskoht ja aasta:	Tartu, 2018		
<p>Modelleerimine võimaldab prognoosida metsa muutust arvutuslikul meetodil ning seeläbi teha täpsemaid otsuseid metsakorralduses. Püsiproovitükkidelt kogutud andmete põhjal on võimalik teha arvutuslikke hinnanguid suurematele aladele. Magistritöö eesmärgiks oli luua puistu ülakõrguse mudel, mis oleks iseloomulik Eesti metsadele ning uurida ülakõrguse kasutamise võimalust alternatiivina keskmisele kõrgusele. Uurimuse tegemiseks kasutati metsa kasvukäigu püsiproovitükkide andmebaasi. Võimalike vigade vältimiseks kontrolliti eelnevalt andmebaasis olevate andmete õigust ja vastavust loodusele. Arvutused ja joonised tehti R keskkonnas. Tulemustest selgus, et hooldusraiete mõju ülakõrgusele ei olnud statistiliselt usaldusväärne. Koostatud ülakõrguse mudelitest oli kõige parim mudel, mis sisaldas keskmist kõrgust, rinnaspindala ja peapuuliiki. Ülakõrguse ja keskmise keskmise kõrguse võrdlemiseks uuriti männikute kõrguskasvu. Eesti keskmise kõrguse kasvumudel hindas männikute viie aasta kõrguskasvu 53 cm mõõtmistulemustest väiksemaks hooldusraieta proovitükkide korral. Samadele tingimustele vastav Rootsi männikute ülakõrguse kasvumudel hindas männikute kõrguskasvu 43 cm võrra väiksemaks. Ülakõrguse hinnang oli seevastu varieeruvam võrreldes keskmise kõrgusega. Ülakõrguse ja keskmise kõrguse standardhälved olid vastavalt 89 cm ja 79 cm. Keskmise kõrguse asendamine ülakõrgusega on praeguste tulemuste põhjal veel ennatlik, kuid ülakõrguse kasutamine koos keskmise kõrgusega annab puistu kohta olulist lisainformatsiooni.</p>			
Märksõnad: statistika, keskmine kõrgus, kõrguskasv			

Estonian University of Life Sciences		Abstract of Master's Thesis	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Toomas Tarmu		Speciality: silviculture	
Title: Modelling of top height using permanent plot data			
Pages: 70	Figures: 22	Tables: 11	Appendixes: 2
Academic chair:	Forest Management Planning and Wood Processing Technologies		
Field of research:	Biosciences and Environment, forest		
(CERC S) code:	B430		
Supervisor:	Professor Andres Kiviste, PhD.		
Place and date:	Tartu, 2018		
<p>Modeling enables to estimate changes in forest growth with statistical method. Nature is often unpredictable, but analyzing data collected from permanent sample plots makes it possible to do predictions for other areas. The aim of the Master's thesis was verify the reliability of top height as an alternative to the average height and to create a top height model, which would take into account characteristic of the Estonian forests. The study was based on the Estonian database of permanent forest growth sample plots. In order to avoid possible errors, the database was previously verified. The calculations and graphs were made in the R. As predicted forest maintenance had no significant effect on top height. Optimal top height model included average height, basal area and principal tree species. The Estonian average height growth model estimated pine forest avarage height growth to be 53 cm below the measurement results (five years between measurements, thinning took place). The prediction of the Sweden pine forest top height model under the same conditions estimated the height of the pine forests to be only 43 cm smaller. The standard error for top height model was slightly higher (89 cm) than standard error for average height (79 cm). Replacing an average height with a top height is still premature on the basis of the results, but the use of the top height with the average height provides additional information on the stands.</p>			
Keywords:Modeling, mean height, height growth			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	6
1. MATERJAL JA METOODIKA	8
1.1. Puistu kasvukäigu püsiproovitükid.....	8
1.2. Andmestiku üldandmed.....	9
1.3. Andmetabelite struktuurid	11
1.4 mõõtmisandmete kontroll	13
1.4.1. Puu diameetri kontroll.....	13
1.4.2. Puude arv proovitükil.....	15
1.4.3. Enamuspuuliik ja peapuuliik.....	16
1.4.4. Proovitüki raadius	17
1.4.5. Vanus	18
1.4.6. Puu kõrguse ja diameetri vaheline seos	18
1.5. Puistu takseertunnused	20
1.5.1 Esimese rinde puude arv hektari kohta	20
1.5.2. Keskmine diameeter.....	21
1.5.3. Rinnaspindala.....	22
1.6 Diameeter-kõrguse seos.....	23
1.7. Hooldusraiete mõju	29
2. ÜLAKÕRGUS	30
2.1 Ülakõrguse arvutamise põhimõtted	30
2.2 Üladiameeter.....	31
2.3 Ülakõrguse arvutamine.....	32
2.4 Puistu kõrguse kasvu arvutamine	33
2.4.1. Keskmise kõrguse kasvu diferentsmudel	34
2.4.2. Ülakõrguse kasvu diferentsmudel	35
3. TULEMUSED JA ARUTELU.....	36
3.1. Keskmise kõrguse ja ülakõrguse sõltuvus hooldusraietest.....	36
3.2. Ülakõrguse ja keskmise kõrguse vaheline seos	37
3.3 Puistu kõrguskasvu prognoosimise tulemused	39
3.3.1 Keskmine kõrgus	39
3.3.2 Ülakõrgus.....	41

3.3.3 Puistu keskmise kõrguse ja ülakõrguse võrdlus.....	43
KOKKUVÕTE.....	44
KASUTATUD KIRJANDUS	45
LISAD	46
Lisa 1. Arvutuste ja jooniste skript R keskkonnas.....	47

SISSEJUHATUS

Statistiliste mudelite olemasolul on võimalik metsade muutumist ajas prognoosida ning seeläbi vastu võtta täpsemaid metsakorralduslikke otsuseid metsade kavandamisel. Pikaajaline planeerimine arvutuslikul meetodil on puistute pika eluea tõttu paratamatu. Seetõttu on prognoosimisel oluline kasutatavate arvutuslike meetodite täpsus.

Ulatuslik andmete ja piirkonna valik modelleerimisel loob paremad eeldused usaldusväärsemate üldistuste tegemiseks teistel metsa aladel, kuna selline lähenemine võimaldab looduslikku keskmist paremini hinnata. Andmete kogumisel on usaldusväärseks allikaks saanud püsiproovitükid, kus andmeid kogutakse üksikpuu tasemel ning kindlate intervallide tagant. Seetõttu valiti magistritöö koostamiseks Eestit kattev kasvukäigu püsiproovitükkide andmebaas, mis tagas andmete mahukuse ja ulatuse. Antud andmebaasi püsiproovitükkide mõõtmisi oli tehtud terve Eesti ulatuses ning see võimaldas koostada ülakõrguse mudeli, mis võtaks arvesse piirkondade eripära. Täpsem ülevaade andmebaasi andmetest on toodud uurimustöö materjali ja metoodika osas.

Modelleerimisel on oluline andmete õigsus, kuna suured kõrvalekalded looduslikust keskmisest tekitavad mudeli koostamisel süstemaatilisi vigu. Looduslike seaduspärasuste teadmine aitab andmeist leida statistilisi erindeid, mis pole tegelikkusega kooskõlas. Andmebaasi tekkinud võimalike vigade vältimine on vajalik usaldusväärsete mudelite koostamiseks. Seetõttu on uurimustöös tehtud põhjalik andmete kontroll enne arvutuste juurde asumist.

Puistute hindamisel kasutatakse Eestis vastavalt metsa korraldamise juhendile keskmist kõrgust. Aritmeetilise keskmise põhjal arvutatud boniteerimistabelid ei võta arvesse keskmise kõrguse sõltuvust metsamajanduslikest töödest. Alternatiivina on võimalik kasutada üla- või valitsevat kõrgust, mida kasutatakse puistu kõrgusena väga paljudes maades (Burkhart & Tomé, 2012; Laar & Akca 1997).

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on uurida ülakõrguse kasutamise võimalust alternatiivina keskmisele kõrgusele ning vaadelda ülakõrguse ja keskmise kõrguse vahelist statistilist sõltuvust Eesti metsade andmeil. Uurimuse tulemusena soovitakse saada tõestust ka sellele, et ülakõrgus on hooldusraietest sõltumatu ning ülakõrguse kasutamine on õigustatud kõrguskasvu prognoosimisel. Ülakõrguse ja keskmise kõrguse seose modelleerimine võimaldaks senisest edukamalt võrrelda teiste maade (eelkõige põhjamaade) metsa mudeleid Eesti mudelitega.

Tänuavaldused

Täna puistu kasvukäigu uurimise tööühma võimaluse eest kasutada kasvukäigu püsiproovitükkide kordusmõõtmiste andmeid.

1. MATERJAL JA METOODIKA

1.1. Puistu kasvukäigu püsiproovitükid

Metsauuringuid alustati Eestis juba 19. sajandil. Uuringud olid peamiselt suunatud metsamajanduslikele võtete mõju mõõtmiseks. Varasemad tulemused olid siiski piiratud mõistmaks ja modelleerimaks ökoloogilisi protsesse. Seetõttu alustas Eesti Maaülikooli Metsakorralduse osakond püsiproovitükkide võrgustiku loomist 1995. aastal. Proovitükid asutati terve Eesti ulatuses. Võrgustiku eesmärgiks oli andmete kogumine üksikpuu tasemel, mis võimaldaks luua statistilisi metsa mudeleid. Aastate möödudes on metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku vajalikkus veelgi kasvanud, kuna see on saanud oluliseks tugilandmestikuks mitmesugustel metsa uuringutele teemadel (Kiviste et al 2015).

Püsiproovitükkidelt saadud andmeid on eelnevalt näiteks kasutatud puude diameetrite jaotusseaduste ja kõrgusekõverate modelleerimiseks. Püsiproovitükkide andmed võimaldavad ka uurida puu võrade seaduspärasusi, konkurentsindekseid, puude väljalangevust jm (Kiviste ja Hordo 2002).

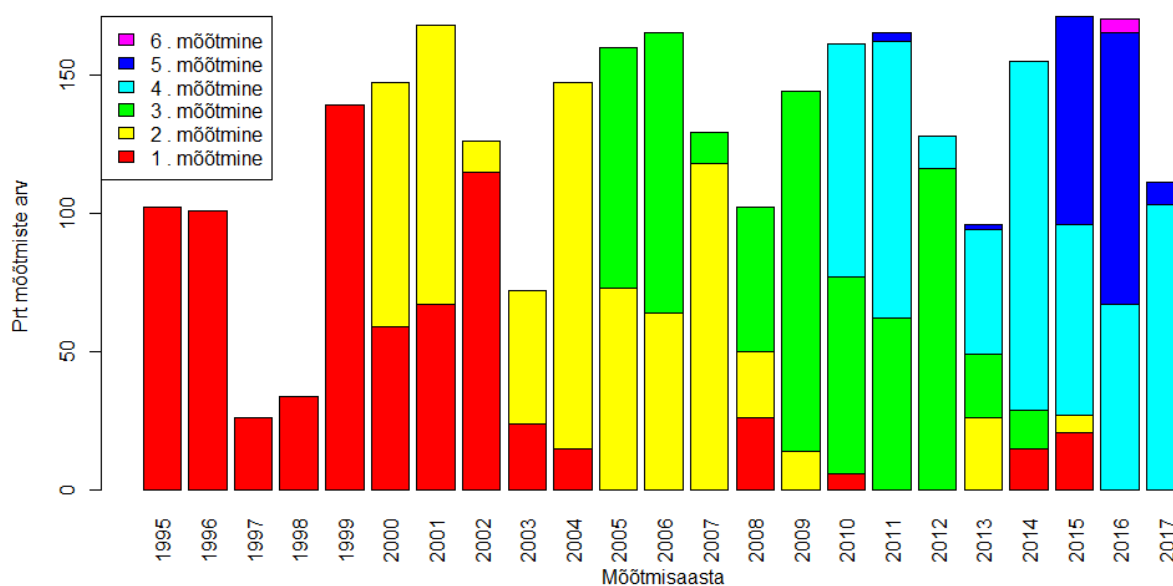
Modelleerides puistut ajutiste proovitükkide andmetel võib puistu tegelikust seisust saada kallutatud nägemuse, kuna selline lähenemine ei võimalda teha perioodilisi kordusmõõtmisi. Seetõttu on püsiproovitükkidelt saadud andmed usaldusväärsemad kui ajutistelt proovitükkidelt kogutud ühekordsed mõõtmisandmed (Kiviste ja Hordo 2002).

Perioodiline andmete kogumine annab selgema ülevaate puistu kõrguse ja vanuse muutumise kohta ning seetõttu võimaldab luua täpsema mudeli. Sellele vaatamata on püsiproovitükkide kasutamine suhteliselt kallis ning tulemuste saamiseks tuleb tihti oodata aastaid (Burkhart & Tomé 2012).

1.2. Andmestiku üldandmed

Magistritöö koostamiseks kasutati metsa kasvukäigu püsiproovitükkide (KKPRT) andmebaasi, mis sisaldab paljude uurimisprojektide raames kogutud mõõtmisandmeid. Arvutused ja joonised tehti R keskkonnas andmebaasifailide *yld.dbf*, *puud.dbf*, *kkt.dbf*, *raadius.dbf* ja *elem_vanus.dbf* põhjal (R skript esitatud lisas). Uurimuse tegemise hetkel oli andmeid viimati uuendatud 04.05.2018 seisuga. Käesolevas töös kasutati ainult puistu kasvukäigu püsiproovitükkide (KK) ja endiste põllumaade metsastumise uurimise proovitükkide (PK) andmeid. Andmebaasis vastasid sellisele tingimusele proovitükid, mille järjekorra numbrid jäid 100 ja 1133 vahele (proovitükid 100 ja 1133 kaasa arvatud). Andmete viimase uuenduse seisuga oli võimalik kasutada 750 erineva proovitüki andmeid, mida oli mõõdetud 2919 korda. Puude mõõtmiste arv kordade peale kokku oli 451349.

Proovitükkide mõõtmised toimusid enamasti viie aastaste intervallide tagant, kuid esines ka erandjuhtumeid, kus mõõtmisi oli tehtud kuni kümneaastase perioodi järel. Proovitükke oli maksimaalselt mõõdetud kuuel korral (joonis 1.1). Rõhuv enamus proovitükke oli mõõdetud vähemalt neljal korral ning see võimaldas jälgida puistu muutumist suhteliselt pika perioodi vältel.



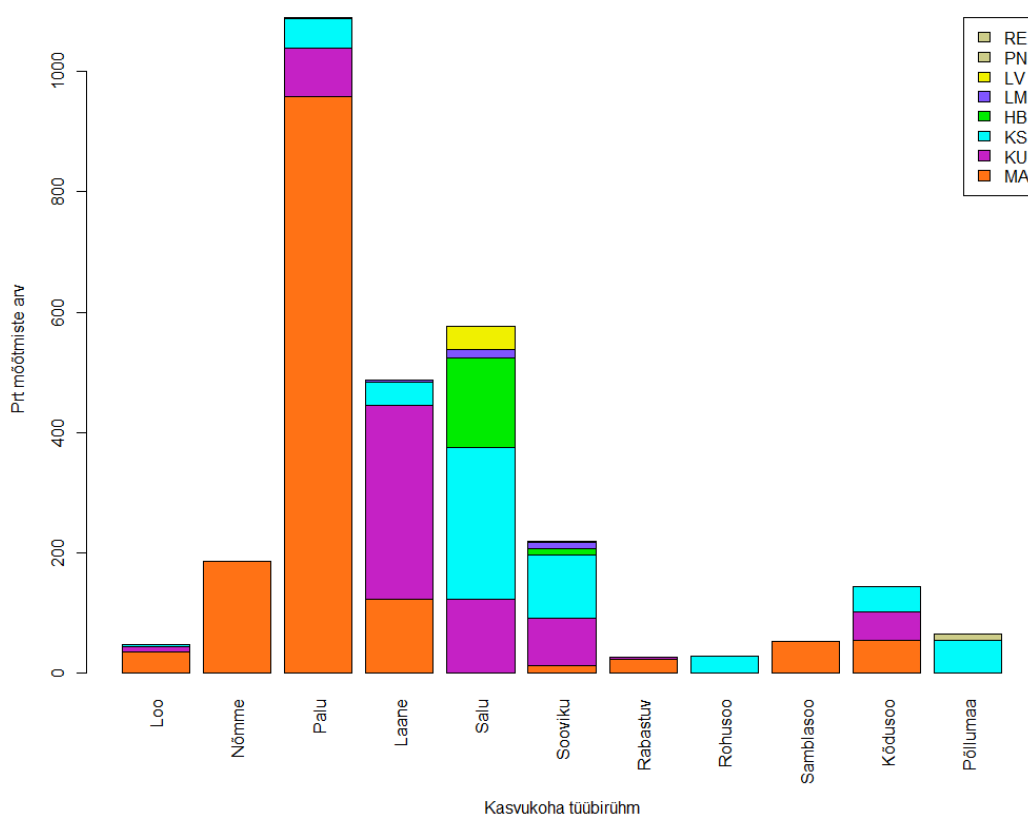
Joonis 1.1. Metsa kasvukäigu püsiproovitükkide mõõtmiskordade arv mõõtmisaastate lõikes

Proovitükkide valik oli ulatuslik ning erinevad kasvukohatüübid olid suures mahus esindatud. Kõige rohkem leidus naadi ja pohla kasvukohatüübiga puistuid.

Tabel 1.1. Kasvukäigu püsiproovitükkide mõõtmiste jaotus metsak kasvukohatüüpide järgi.

AN	JK	JM	JO	JP	KL	KM	KN	KP	KR	LD	LL	MD
154	307	145	104	205	43	53	47	0	11	12	4	15
MO	MS	ND	PH	PM	RB	SJ	SL	SM	SN	SS	TA	TR
40	258	565	429	64	8	12	180	139	15	44	19	46

Parema ülevaatlikkuse eesmärgil ühendati proovitükkide andmed kasvukoha tüübirühmadesse. Kõige rohkem oli mõõtmistega esindatud palumetsad. Mõõtmistel esines kõige rohkem männi, kuuse ja kase enamusega puistuid (joonis 1.2).



Joonis 1.2. Proovitükkide mõõtmiste arv sõltuvana metsak kasvukoha tüübirühmast ja enamuspuiduliigist

1.3. Andmetabelite struktuurid

Kontrollide ja arvutuste tegemiseks koostati andmebaasifailide *yld.dbf* ja *puud.dbf* põhjal R keskkonnas esialgsed andmestikud YLD ja PD. Töö käigus loodi juurde mitmeid uusi andmestikke (tabel 1.2) ja muutujad (tabelid 1.3 ja 1.4).

Tabel 1.2. Uurimustöö R keskkonna andmestikud

YLD	Kõikide püsiproovitükkide üldandmete kõik tunnused kõigil mõõtmistel
YD	Uurimuse jaoks vajalikud püsiproovitükkide tunnused kõigil mõõtmistel
YD6	Peapuuliigi püsiproovitükkide tunnused kõigil mõõtmistel, kus kõrgust on mõõdetud vähemalt kuuel korral
YDkord	YD6 mõõtmiskordade paarid
MA	YD6 mõõtmiskordade paarid, kuhu olid eraldatud vajalikud männikute andmed
DHPP	Peapuuliigi püsiproovitükkide diameeter-kõrguste andmestik
DHPP6	Püsiproovitükkide diameeter-kõrguste andmestik, kus peapuuliigist on kõrgusi mõõdetud 6 või enamal korral.
P	Kõikide puude tunnused kõigil mõõtmistel
PD	Uurimuse jaoks vajalikud puude tunnused kõigil mõõtmistel
PE	Elusate puude tunnused kõigil mõõtmistel
P1	Esimese rinde puude tunnused kõigil mõõtmistel
P1kord	Püsiproovitükkide esimese rinde puude mõõtmiskordade paarid
P16	Esimese rinde puude tunnused kõigil mõõtmistel, kus kõrgust on mõõdetud vähemalt kuuel korral
PP	Kõikide peapuuliigi puude tunnused kõigil mõõtmistel.
PP6	Peapuuliigi puude tunnused kõigil mõõtmistel, kus kõrgust on mõõdetud vähemalt kuuel korral
P6	Kõikide puude tunnused kõigil mõõtmistel, kus kõrgust on mõõdetud vähemalt kuuel korral
P1kk	Püsiproovitükkide kõikide puude mõõtmiskordade paarid
EV	Püsiproovitükkide korregeeritud sünniaastad
KKT	Püsiproovitükkide kasvukoha tüübirühmad
NK	Näslundi a ja b dp-kordaja parandarvud
RAADIUS	Püsiproovitükkide korregeeritud raadiused

Tabel 1.3. Puude andmestiku (PP6) olulisemad muutujad

pl	Puuliik
kaug	Puu kaugus proovitüki keskpunktist (m)
h	Puu kõrgus (m)
d1	Puu diameeter mõõdetud proovitüki keskpunkti suunas (cm)
d2	Puu diameeter mõõdetud proovitüki keskpunkti suunaga risti (cm)
d	Puu diameeter kahe ristdiameetri keskmisena (cm)

Tabel 1.4. Üldandmestiku (YD6) ja männikute kasvukäigu (MA) olulisemad muutujad

pe	Üldandmestiku enamuspuuliik
peg	Rinnaspindala järgi arvatud enamuspuuliik
pev	Viimase mõõtmisaasta enamuspuuliik ehk peapuuliik
a	Üldandmestiku vanus (a)
synd	Puursüdamike andmeil määratud puistu sünniaastad
mr_synd	Metsaregistrist võetud puistu sünniaastad
vanus	Arvatud proovitükkide vanus (a)
aasta	Proovitükkide mõõtmisaasta
nelus	Elusate puude arv püsiproovitüki mõõtmiskorra kohta (tk)
n1	Esimese rinde puude arv püsiproovitüki mõõtmiskorra kohta (tk)
np	Peapuuliigi puude arv püsiproovitüki mõõtmiskorra kohta (tk)
r1	Üldandmestiku esimene proovitüki raadius (m)
raadius	Uuendatud andmestiku proovitüki raadius (m)
pindala	Proovitüki pindala (ha)
n1ha	Esimese rinde puude arv hektari kohta (tk)
npha	Peapuuliigi puude arv hektari kohta (tk)
geha	Eluspuude rinnaspindala (m ² /ha)
g1ha	Esimese rinde puude rinnaspindala (m ² /ha)
gpha	Peapuuliigi puude rinnaspindala (m ² /ha)
de	Eluspuude takseerkeskmise diameeter (cm)
dr1	Esimese rinde puude takseerkeskmise diameeter (cm)
dp	Peapuuliigi puude takseerkeskmise diameeter (cm)
hp	Peapuuliigi puude takseerkeskmise kõrgus (m)
nhp	Peapuuliigi puude kõrguse mõõtmiste arv mõõtmisaasta kohta (tk)
nka	Näslundi parameeter a
nkb	Näslundi parameeter b
dtopp	Peapuuliigi puude üladiameeter (m)
htopp	Peapuuliigi puude ülakõrgus (m)
g1hak	Raiutav rinnaspindala (m ² /ha)
HPy	Eesti diferentsmudeli abil prognoositud keskmine kõrgus (m)
HPe	Eesti diferentsmudeli abil prognoositud keskmine kõrguse ja mõõtmiste põhjal arvatud Keskmise kõrguse vahe (m)
HTOPPy	Rootsi kõrguskasvu mudeli abil prognoositud ülakõrgus (m)
HTOPPe	Rootsi kõrguskasvu mudeli abil prognoositud ülakõrguse (m) ja mõõtmiste põhjal arvatud ülakõrguse vahe (m)
HR	Hooldusraiete muutuja (OR – hooldusraie ei toimunud, HR – hooldusraie toimus)
ohor	Kõduhorisont (cm)
kord	Proovitüki mõõtmiskorra number

1.4 mõõtmisandmete kontroll

Andmestike uurimisel leiti numbrilisi kõrvalekaldeid (erindeid), mis ei jäänud loodust arvesse võttes usaldusväärsesse piiridesse. Arvestatav osa vigaseid andmeid parandati vahetult R-skripti koostamisel või jäeti antud töö arvutustest välja. Vigade leidmisel teavitati ka andmebaasi haldajat, et andmete ebakõlad saaksid järgmisel andmebaasi uuendamisel parandatud. Andmestike korrastamine ja kontrollimine oli aeganõudev ettevõtmine, kuid vajalik võimalike vigade vältimiseks edasisel mudelite koostamisel. Järgnevalt vaadeldi uuritud tunnuseid eraldi.

1.4.1. Puu diameetri kontroll

Iga puu diameeter (d) arvutati antud puu kahes suunas mõõdetud diameetrite d1 (mõõdetud proovitüki keskpunkti suunas) ja d2 (mõõdetud proovitüki keskpunkti suunaga risti) keskmisena. Diameetri mõõtmisel oli erandkorras lubatud jätta teine diameeter (d2) mõõtmata. Teise diameetri (d2) mõõtmise puudumisel võeti puu diameetriks (d) esimene diameeter (d1).

Igal eluspuul pidi olema mõõdetud diameeter. Eraldati eluspuude andmestik (PE). Eluspuudeks arvestati 1, 2, A, E, H, J ja Y rinde puud (tabel 1.5). Diameetri kontrollimisel eluspuude mõõtmisandmestikul PE selgus, et 613 juhul oli puu diameeter jäänud mõõtmata ja kuuel korral oli diameeter null. Need 619 puud jäeti tulemuste arvutamisel välja. Sellest tulenevalt oli võimalik kasutada 382441 eluspuu mõõtmisandmeid.

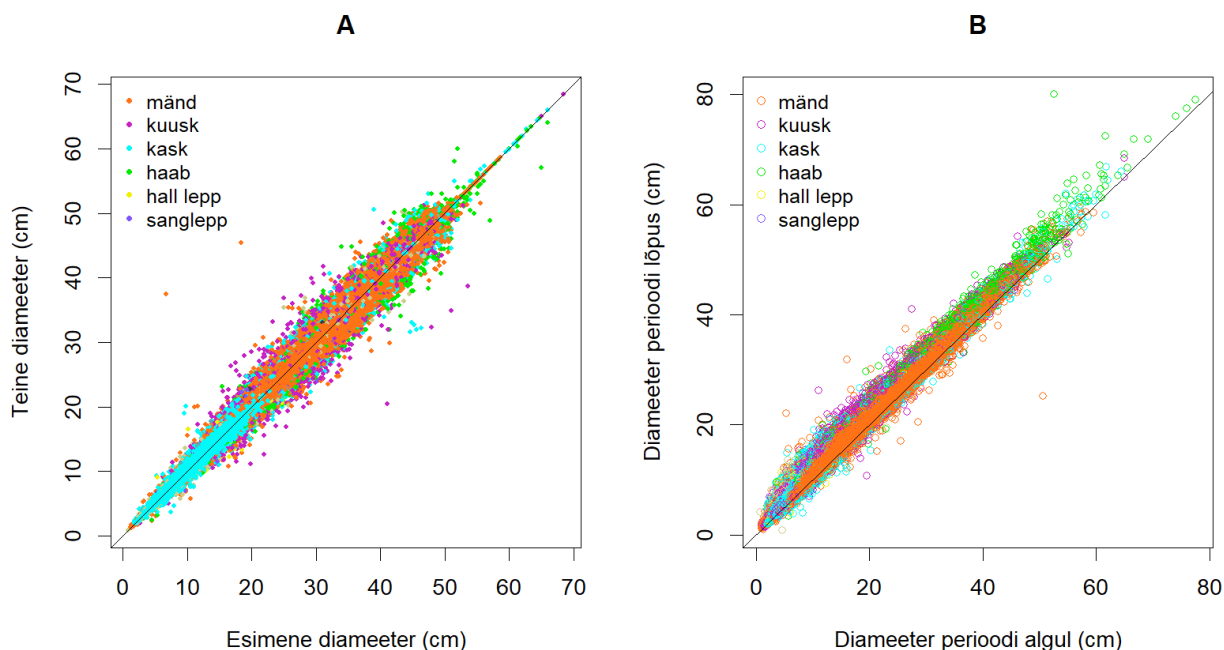
Tabel 1.5. Eluspuude mõõtmiste arv rinnete kaupa

Kood	Nimetus	Arv
1	Esimene rinne	313232
2	Teine rinne	62686
A	Alusmets	1813
E	Esimene rinne, aga erinev põlvkond	397
H	Põõsas (hulk peenikesi ühest kannust tüvesid)	405
J	Järelkasvu rinne	3792
Y	Üksikpuude rinne	116

Diameetri õigsuse kontrollimiseks uuriti esimese rinde puu kahes suunas mõõdetud diameetrite d1 ja d2 vahelist seost. Ideaaljuhul oli kahes suunas mõõdetud diameetrite erinevus null. Arvutuste jaoks loodi esimese rinde puude andmestik P1. Esimese rinde puid oli mõõtmisaastate jooksul mõõdetud kokku 313232 korral. Esimese rinde puude diameetrite erinevuse (d1-d2) standardhälve oli 0,863 ning mediaanabsoluuthälve (mad) 0,593, mis viitas erinditele andmestikus. Kahes suunas mõõdetud diameetri erinevus oli 19 puu korral suurem kui 10 cm (joonis 1.3A).

Koostati esimese rinde mõõtmiskordade paarid (P1kord). Kahe mõõtmiskorra liitmiseks kasutati üldandmestiku (YD) muutujat (kord), mis näitas püsiproovitüki mõõtmiskordade arvu olenevalt käesolevast mõõtmisaastast (aasta). Proovitüki mõõtmiste kord ühendati esimese rinde puude andmestikuga (P1), et eristada esimese rinde puid mõõtmiskordade kasvamise järjekorras. Vigade vältimiseks kontrolliti topeltnumbriga puude esinemist. Mõõtmispaaride alusel kontrolliti diameetrite ebarealistlikke kasve ja kahanemisi. Andmestikus oli ühe mõõtmisaasta vahel puu diameeter kahanenud rohkem kui 10 cm. Viiel korral oli diameeter kasvanud üle 3 cm aastas (joonis 1.3B).

Käesoleva uurimustöö tegemisel suure diameetri kõikumisega puid (nii mõõtmis-suundade kui ka mõõtmisperioodidega seonduvaid kõrvalekaldeid) välja ei arvestatud.



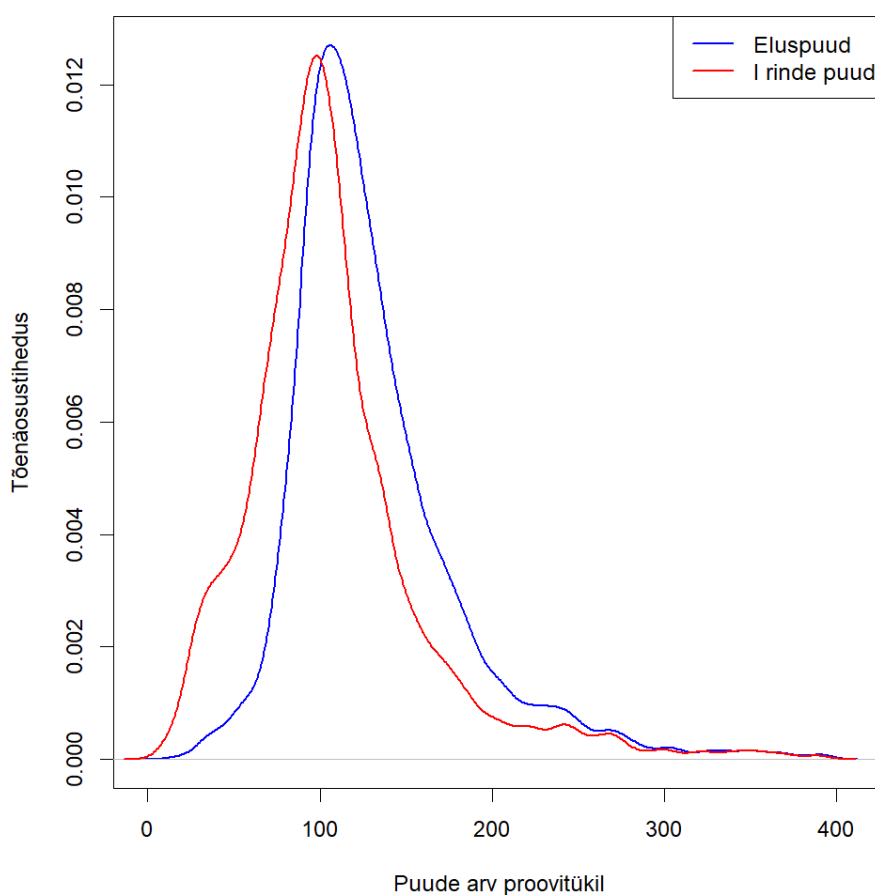
Joonis 1.3. Kahes suunas mõõdetud diameetrite paarid (A) ja mõõtmisperioodide alguse ning lõpuperioodi diameetrite paarid (B)

1.4.2. Puude arv proovitükil

Elusate puude arvu (nelus) saamiseks arvutati eluspuude (PE) diameetri mõõtmiste summa iga proovitüki mõõtmiskorra kohta. Minimaalne eluspuude mõõtmiste arv proovitükil oli 17 ja maksimaalne 392.

Esimese rinde puude loendamiseks (n_1) arvutati esimese rinde puude andmestiku (P1) alusel iga proovitüki mõõtmisaasta diameetri mõõtmiste summa. Minimaalne esimese rinde puude arv proovitükil oli 6 ning maksimaalne 391

Arvutuste usaldusväärsuse kontrollimiseks võrreldi elusate puude arvu (nelus) ja esimese rinde puude arvu (n_1) (joonis 1.4.). Elusate puude arv oli 509 juhul võrdne esimese rinde puude arvuga, kuid mitte kordagi suurem.



Joonis 1.4. Eluspuude arvu (sinine) ja I rinde puude arvu (punane) jaotused proovitükkide mõõtmistel.

1.4.3. Enamuspuuliik ja peapuuliik

Püsiproovitükkide mõõtmistel oli määratud enamuspuuliigiks (pe) puuliik, mille I rinde rinnaspindala oli suurim. Kontrollide tegemisel selgus, et proovitüki enamuspuuliik (pe) oli mitmetel juhtudel kodusmõõtmiste käigus muutunud ning põhjustas probleeme kasvukäigu kirjeldamisel ja normatiivide kasutamisel. Seetõttu määrati antud töös igale proovitükile peapuuliik (pev), milleks võeti I rinde puude rinnaspindala järgi arvutatud viimase aasta mõõtmise enamuspuuliik.

Üldandmestikus (YLD) oleva peapuuliigi (pe) kontrollimiseks arvutati igale proovitükile mõõtmisele puuliigi suurima I rinde rinnaspindala põhjal enamuspuuliik (peg). Üldandmestiku enamuspuuliik (pe) ja arvutatud enamuspuuliik (peg) olid kümnel juhul erinevad. Endine enamuspuuliik (pe) ja arvutatud enamuspuuliik (peg) muutusid mõõtmisaastate vahel vastavalt 37 ja 35 korda.

Proovitükkide peapuuliigi (pev) määramiseks lisati proovitükkide mõõtmisandmestikku YD proovitüki viimane mõõtmisaasta (vaasta). Eelneva andmestiku enamuspuuliik (pe) ja viimase mõõtmisaasta enamuspuuliik ehk antud töö peapuuliik (pev) olid erinevad 81 mõõtmiskorral (tabel 1.2.). Järgnevate arvutuste tegemiseks kasutati proovitükkide peapuuliigina viimase mõõtmisaasta enamuspuuliiki (pev).

Tabel 1.6. Enamuspuuliigi (pe) ja peapuuliigi (pev) sagedustabel

$\frac{pev}{pe}$	HB	KS	KU	LM	LV	MA	RE
HB	151	11	0	0	0	0	0
KS	11	542	10	6	0	2	1
KU	0	6	644	3	0	9	0
LM	0	2	3	22	0	0	0
LV	1	10	0	0	29	0	0
MA	0	3	3	0	0	1436	0
RE	0	0	0	0	0	0	14

1.4.4. Proovitüki raadius

Proovitüki pindala arvutati proovitüki raadiuse kaudu (tabel 1.5.). Kontrollide tegemisel selgus, et üldandmete andmestikus (YD) oli puudu 36 proovitüki mõõtmise raadiused. Samuti oli uuendamata jäänud mitmed proovitükkide raadiused mõõtmiste vahelisel perioodil, kus olid toimunud harvendusraied. Püsiproovitükke laiendati, kui pärast raiet või muud häiringut ei jäänud piisavalt palju puid alles. Uuendatud raadiused olid salvestatud andmebaasifailis *raadius.dbf*. Faili sisestamisel R keskkonda loodi uus andmestik RAADIUS. Uue andmestiku ühendamisel üldandmestikuga (YD) saadi kõigile proovitüki mõõtmistele õiged proovitüki raadiused. Siiski, ka uues andmestikus oli üks viga, mis tuli üldandmestikus parandada. Proovitüki 244 viimase mõõtmisaasta (2014) raadius oli märgitud 25 (m), aga kaugemale kui 20 (m) polnud ühegi puu mõõtmist tehtud. Andmestikus vähendati mõõtmisaasta raadiust vastavalt viie meetri võrra.

Tabel 1.7. Proovitükkide mõõtmiste jaotus proovitüki raadius ja pindala järgi

Raadius (m)	Mõõtmiste arv (tk)	Pindala (ha)
6	10	0,011
7	15	0,015
8	28	0,020
9	15	0,025
10	73	0,031
11	14	0,038
12	32	0,045
13	20	0,053
14	39	0,062
15	19	0,071
16	21	0,080
17	48	0,091
18	48	0,102
19	28	0,113
20	836	0,126
21	23	0,139
22	29	0,152
23	5	0,166
24	14	0,181
25	579	0,196
26	10	0,212
27	10	0,229
30	104	0,283

1.4.5. Vanus

Puistu vanuseks proovitüki mõõtmisel oli enamuspoolsi vanus (a), mis oli salvestatud üldandmete tabelisse YLD. Püsiproovitüki rajamisel võeti puistu vanus enamasti tolleaegsest takseerikirjeldusest, mida muudeti juhul, kui see osutus puursüdamike andmeil vajalikuks. Edaspidiste proovitükkide kordusmõõtmiste käigus vanuseid tihti peale korregeeriti, kuid erinevused võisid jääda tabelis YLD muutmata.

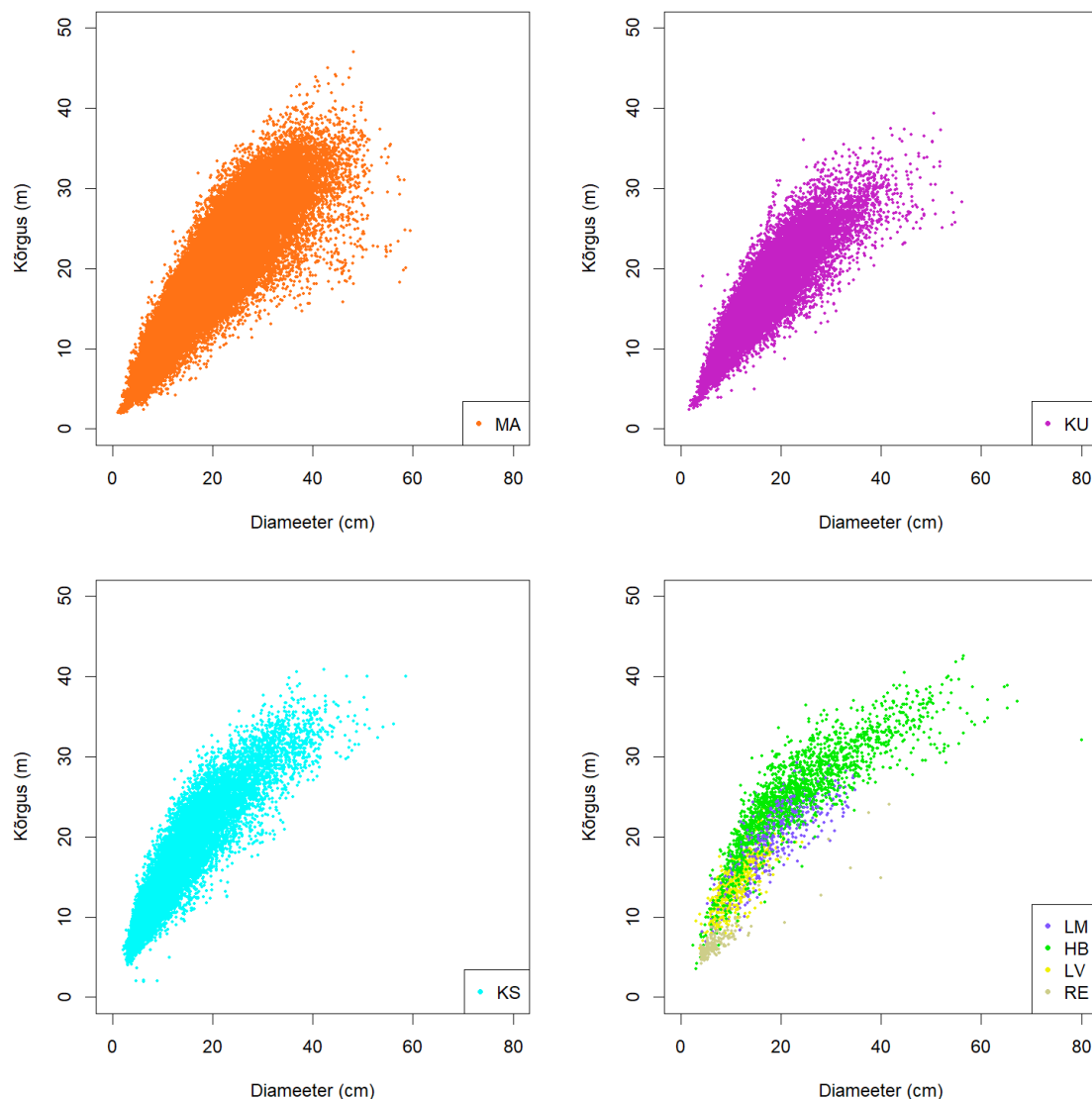
Proovitükkide metsaelementide puursüdamike andmeil määratud sünniaastad (synd) ja metsaregistrist võetud sünniaastad (mr_synd) asusid andmebaasifailis *elem_vanus.dbf*. Vajadusel korregeeriti seda faili proovitükkide kordusmõõtmiste käigus. Faili sisestamisel R keskkonda loodi andmestik EV, milles siiski olid osad andmed puudu. Proovitükkide 468 ja 470 sünniaastad olid nullid. Sünniaasta (synd) ja metsaregistri sünniaasta (mr_synd) olid puudu vastavalt 596 ning 497 juhul. Puistu uued vanused (vanus) proovitükkide mõõtmistel (andmestikus YD) arvutati andmestiku EV toel.

Kontrolliti, kas proovitüki mõõtmisaasta (aasta) muutumisega muutus samavõrra ka puistu vanuse (a). Kolmel juhul (proovitükid 255, 445 ja 452) muutus mõõtmisaasta ja vanus erinevalt. Vead tuvastati ja parandati. Andmete puudumise tõttu lisati puudlikud sünniaastad (synd) metsaregistri sünniaastade (mr_synd) ning üldandmestiku (YD) proovitükkide puistute vanuste (a) järgi. Proovitüki vanuse (vanus) arvutuses eelistati sünniaasta andmeid (synd) metsa registri andmetele (mr_synd) ning metsaregistri andmeid (mr_synd) üldandmete vanusele (a). Asenduste tegemise lõppedes kontrolliti veelkord, kas igal proovitükil on vanus olemas ning aastaga kooskõlas. Kontrollide tulemusena selgus, et proovitükkide vanused olid kõikidel proovitükkidel olemas ning mõõtmisaastaga kooskõlas.

1.4.6. Puu kõrguse ja diameetri vaheline seos

Puu kõrguse ja diameetri vahelise seose uurimiseks koostati lisaks eluspuude andmestikule (PE) ja I rinde puude andmestikule (P1) peapuuliigi puude mõõtmisandmestik (PP). Proovitüki üldandmestikku (YD) lisati ülevaate saamiseks peapuuliigi puude mõõtmise arv proovitükil (np). Minimaalne peapuuliigi puude arv proovitüki mõõtmiskorra kohta oli 4.

Peapuuliigi kõrguskõvera loomiseks valiti peapuuliigi puude andmestikust (PP) kõik mõõdetud kõrgusega puud ($h > 1.3$) ning tekitati kõrgus-diameetri andmestik (DHPP). Saadud andmestikus oli 77505 puu kõrgus-diameetri mõõtmist (joonis 1.5.) Järgnevalt arvutati kõrguste mõõtmiste arv iga proovitüki iga mõõtmiskorra kohta (nhp). Peapuuliigi puude kõrgust oli proovitükkide mõõtmistel mõõdetud maksimaalselt 285 ja minimaalselt ühel korral. Kõrguskõvera mudelite koostamiseks valiti proovitükkide mõõtmiskorrad, millel oli vähemalt kuus kõrguse mõõtmist. Sellised juhtumid, kus proovitüki peapuuliigi puude kõrgusi oli mõõdetud vähem kui kuus korda, oli kokku 61. Proovitükid, millel oli vähem kui kuus peapuuliigi kõrguse mõõtmist, jäeti kõrguskõvera mudeli koostamisel välja. Tulemusena jäi kõrgus-diameetri andmestikku 77259 puu mõõtmist.



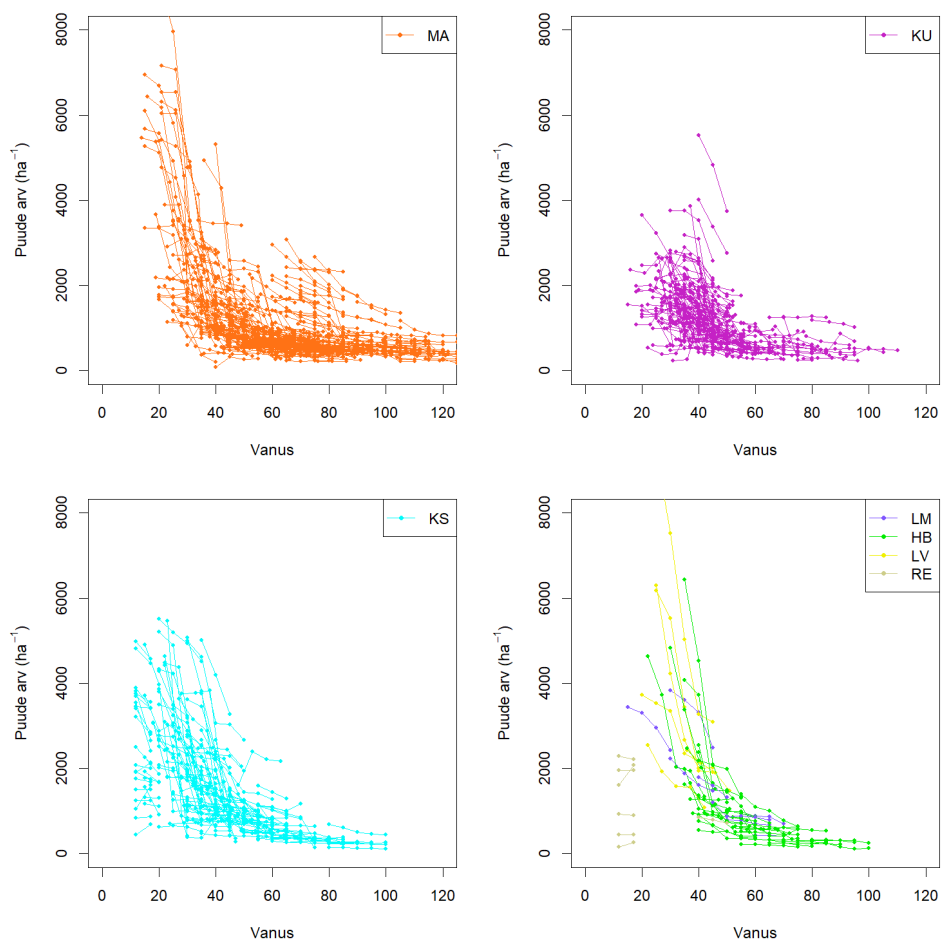
Joonis 1.5. Pealiigi puude diameetri (d) ja kõrguse (h) hajuvusdiagrammid (kõik mõõtmised koos)

1.5. Puistu takseertunnused

Kontrollide tegemise järel arvutati uued muutujad, mis olid vajalikud ülakõrguse modelleerimiseks. Erinevate tunnuste olemasolu võimaldas hinnata nende olulisust ülakõrguse prognoosimisel. Järgnevalt vaadeldi igat arvutatud tunnust eraldi.

1.5.1 Esimese rinde puude arv hektari kohta

Lähtudes esimese rinde puude arvust proovitükil (n_1) ja proovitüki pindalast (pindala) arvutati üldandmestikku (YD) põhjal peapuuliigi puude arv hektari kohta (n_1ha). Joonisel 1.6. on esitatud esimese rinde puude arvu muutumine sõltuvalt puistu vanusest proovitükkidel.



Joonis 1.6. I rinde puude arvu dünaamika püsiproovitükkidel

1.5.2. Keskmine diameeter

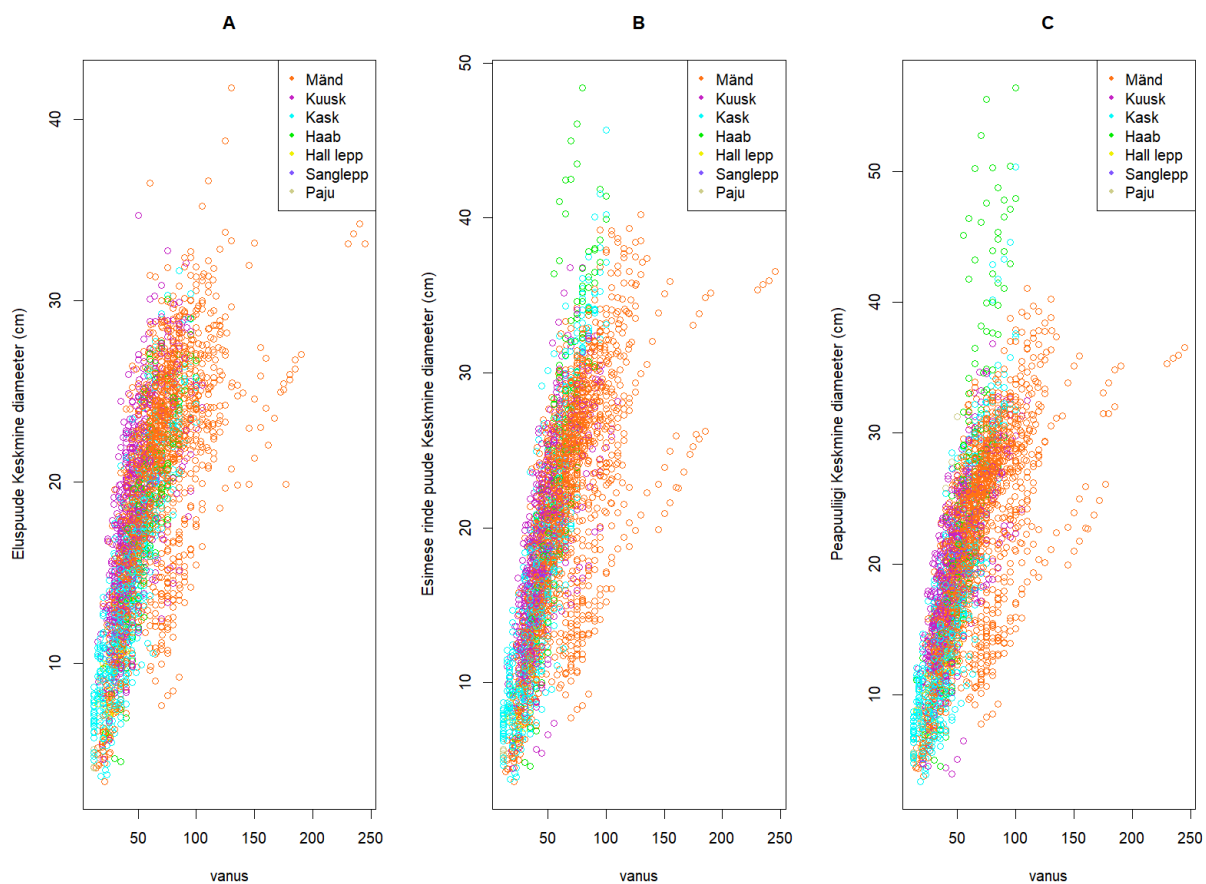
Eluspuudele (andmestik PE), esimese rinde puudele (andmestik P1) ja peapuuliigi puudele (andmestik PP) arvutati (ruut)keskmine diameeter valemiga (de, dr1 ja dp).

$$D = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n}} \quad (1)$$

kus D – de, dr1 või dp sõltuvalt andmestikust (PE, P1 või PP),

d_i – puu diameeter andmestikus,

n – puude arv andmestikus



Joonis 1.7. Eluspuude keskmise diameetri ja vanuse seos (A), esimese rinde keskmise diameetri ja vanuse seos (B) ning peapuuliigi puude ja vanuse seos (C)

1.5.3. Rinnaspindala

Eluspuudele (andmestik PE), esimese rinde puudele (andmestik P1) ja peapuuliigi puudele (andmestik PP) arvutati rinnaspindala hektari kohta valemiga (geha, g1ha ja gpha),

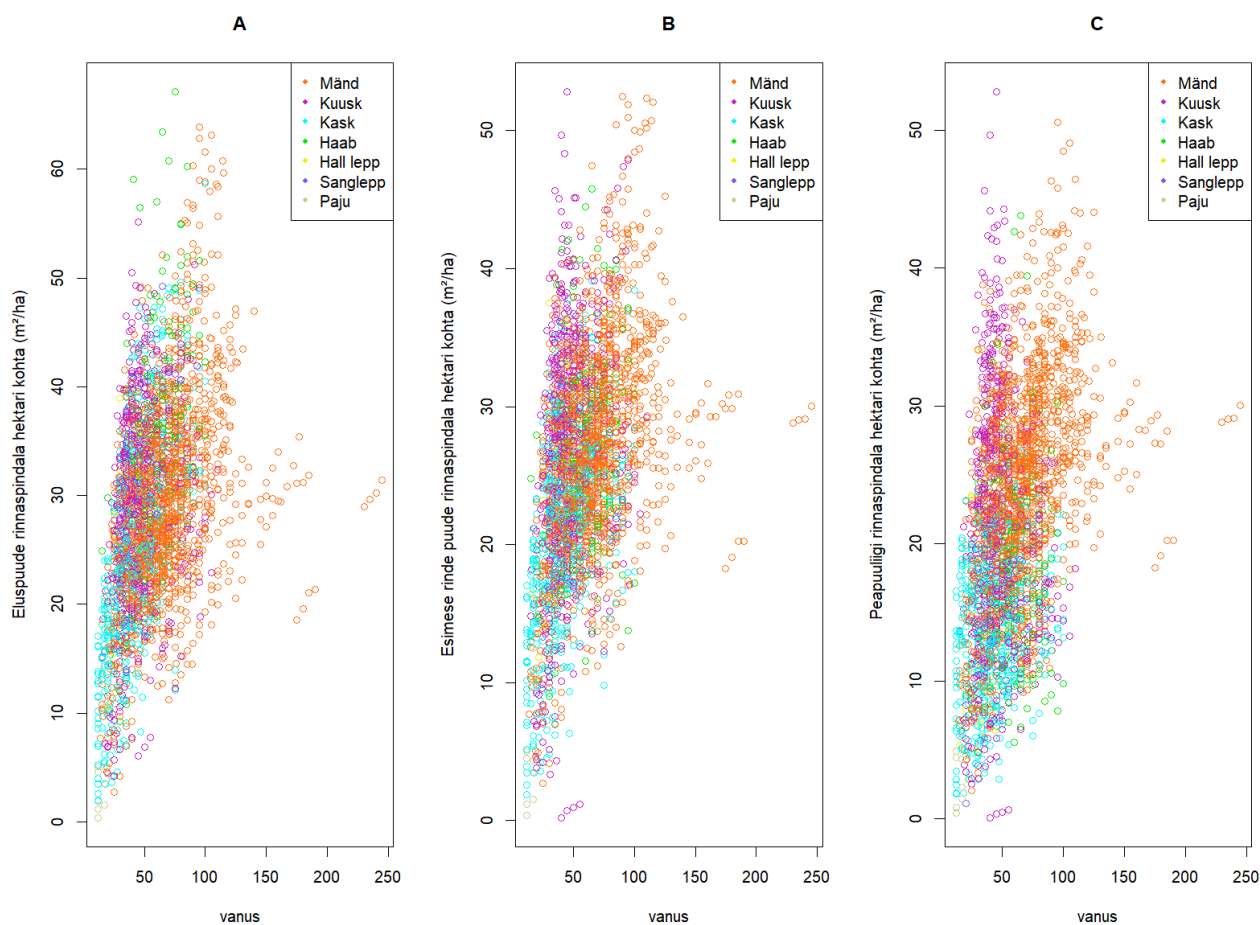
$$G = \frac{D^2 * \pi}{40000} / P \quad (2)$$

kus G – geha, g1ha või gpha sõltuvalt andmestikust (PE, P1 või PP), (m^2/ha)

D – de, dr1 või dp sõltuvalt andmestikust (PE, P1 või PP) (cm),

P – proovitüki pindala (ha)

π – 3,14...



Joonis 1.8. Eluspuude rinnaspindala ja vanuse seos (A), esimese rinde puude keskmise rinnaspindala ja vanuse seos (B) ning peapuuliigi puude rinnaspindala ja vanuse seos (C).

1.6 Diameeter-kõrguse seos

Kõrguse ja diameeter vahelist seost hinnati Näslundi kõvera abil (Näslund, 1937 & Mehtätalo et al 2015). Valemi jaoks vajalikud parameetrid a (nka) ja b (nkb) arvutati R keskkonnas lineariseeritud mudeliga. Saadud seosega prognoositi keskmine kõrgus kui ka ülakõrgus. Joonisel (1.9.) on kujutatud muutujate nka ja nkb vaheline seos.

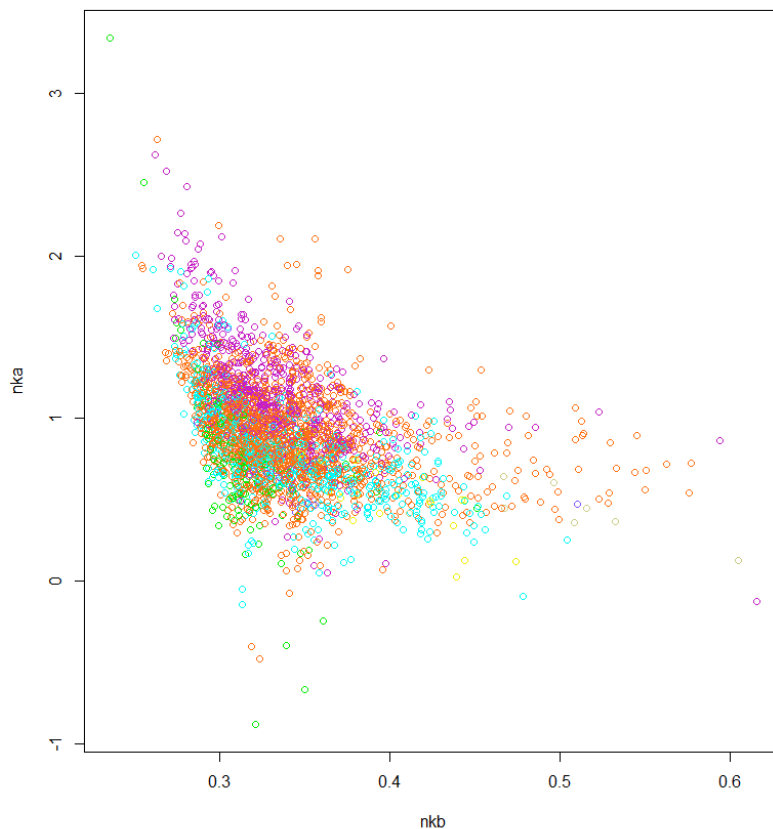
Näslundi valem:

$$h = 1.3 + \left[\frac{d}{(a + b * d)} \right]^3 \quad (3)$$

h - puistu elemendi kõrgus (h)

d – puistu elemendi diameeter (d)

a ja b – parameetrid, mis määrati iga proovitüki jaoks eraldi (nka ja nkb)

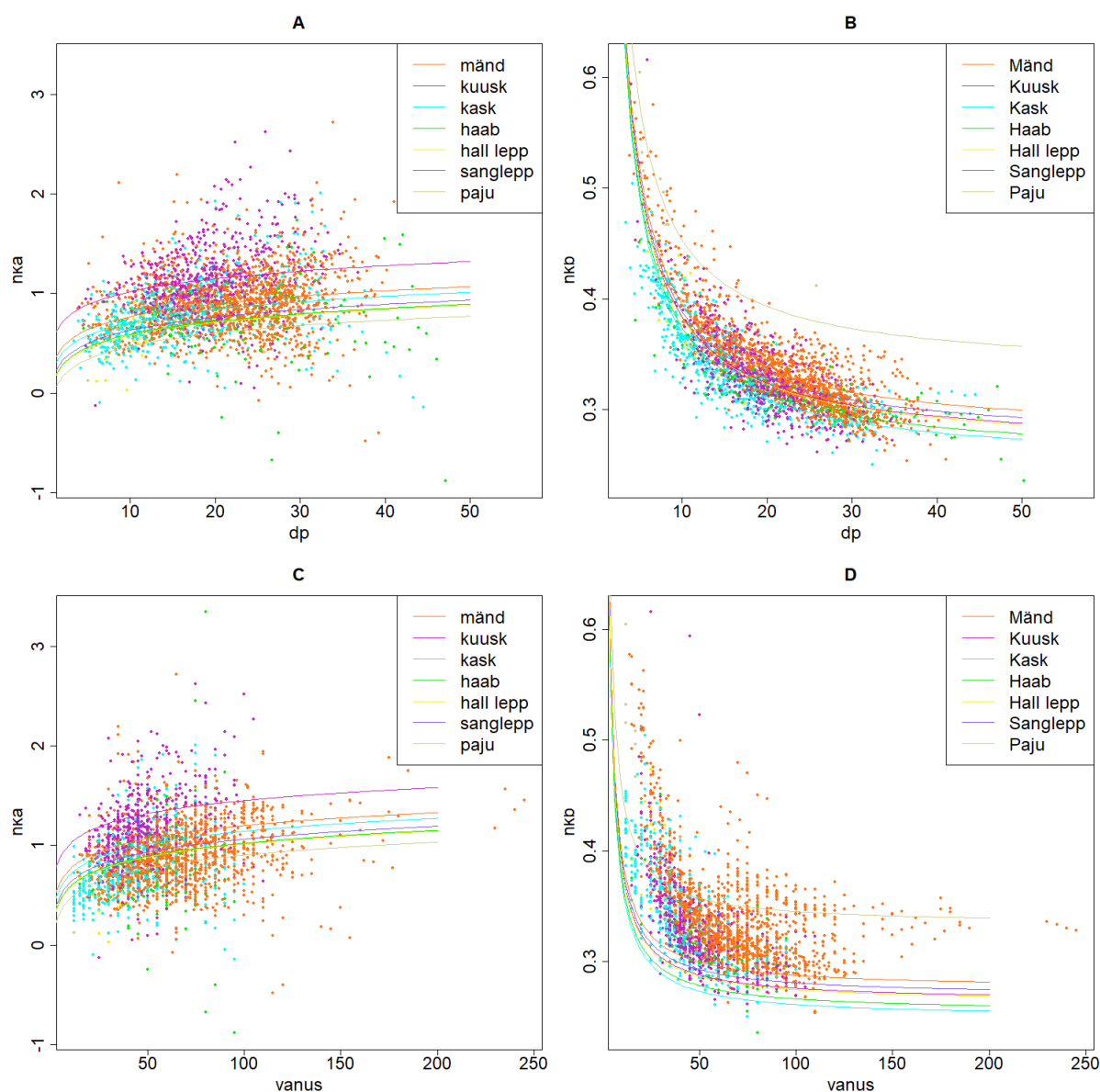


Joonis 1.9. Muutujate a (nka) ja b (nkb) vaheline seos

Uuriti nka ja nkb seost peapuuliigi puude (PP) keskmise diameetriga (dp). Joonistelt (joonised 1.10A ja 1.10B) oli näha, et muutuja a (nka) seos keskmise diameetriga oli parem kui muutuja b (nkb) seos keskmise diameetriga.

Vanuse (vanus) ja muutujate võrdlemisel leiti, et mõlema muutuja (nka ja nkb) puhul oli hajuvus võrdlemisi suurem kui keskmise diameetri korral (joonised 1.10C ja 1.10D).

Keskmine diameetri ja vanuse võrdlemisel leiti, et muutujate ja keskmise diameetri seos oli parem kui vanuse ja muutujate a ja b vaheline seos (joonis 1.10.).



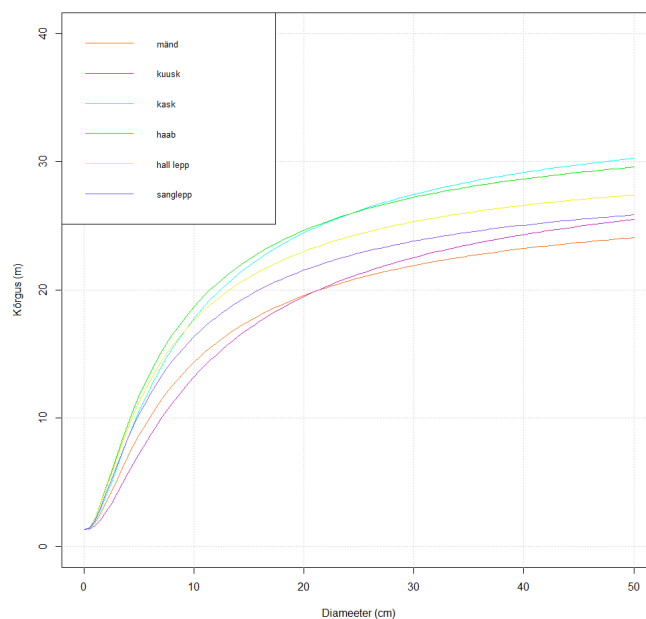
Joonis 1.10. Nka seos keskmise diameetriga (A), nkb seos keskmise diameetriga (B), nka seos vanusega (C) ja nkb seos vanusega (D)

Vaadeldi Näslundi kõvera käitumist olenevalt puuliigi diameetrist ja kõrgusest (joonis 1.11). Selle jaoks arvutati parameetrite a ja b keskmised väärtused. Tulemusena saadi a väärtuseks 0.188 ja b väärtuseks 1.196. Arvutuste tegemisel tuli selgelt välja parameetrite erinevus olenevalt puuliigist. Arvutuste lihtsustamiseks loodi excelis fail *nkmudel.csv*, milles olid muutujate aa ja ab parandid olenevalt puuliigist (tabel 1.6.). Parameetrite faili abil loodi R keskkonnas uus andmestik NK.

Tabel 1.8. Parameetrite a ja b parand arvud olenevalt peapuuliigist

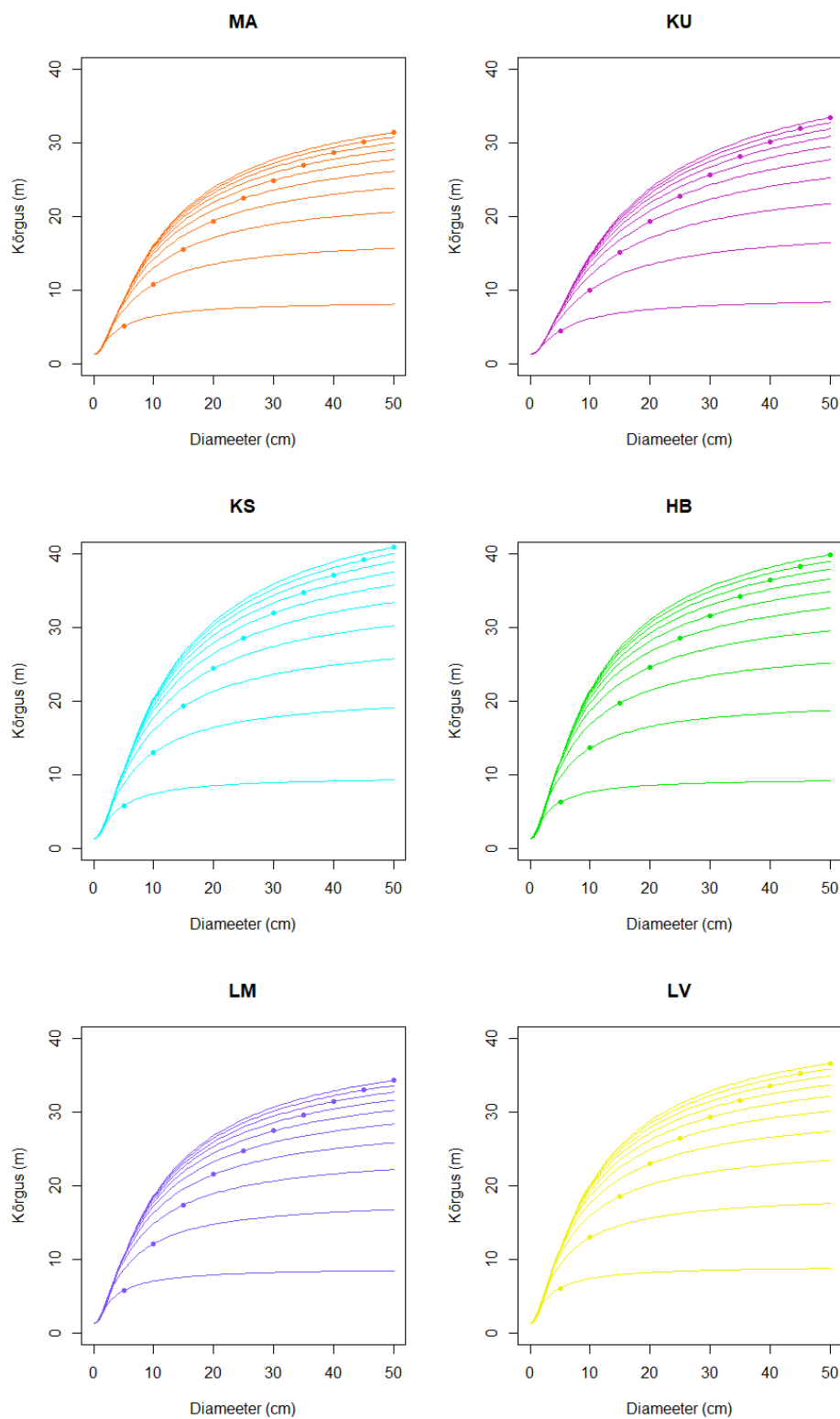
PL	aa	ab
MA	0,335	0,276
KU	0,587	0,264
KS	0,279	0,249
HB	0,159	0,254
LM	0,199	0,269
LV	0,150	0,263
RE	0,039	0,334

Näslundi kõvera lehtpuude (kask ja haab) kõverate käitumine oli üksteise suhtes sarnane. Okaspuude (mänd ja kuusk) kõverate käitumine oli üksteisele lähedasem võrreldes lehtpuudega (joonis 1.11).



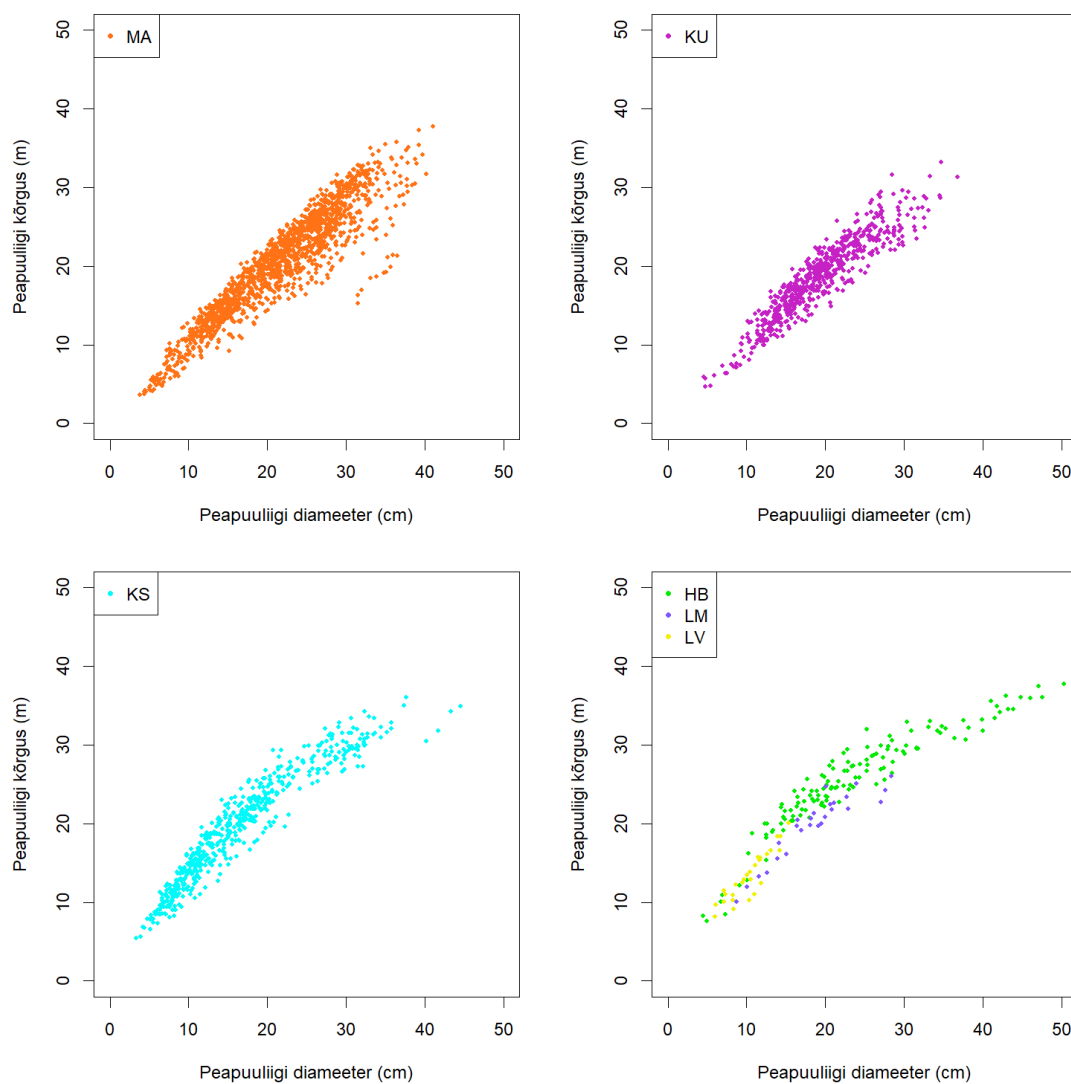
Joonis 1.11. Diameetri ja kõrguse seos

Vaadeldi Näslundi kõrguskõverate käitumist puuliikide kaupa (joonis 1.12.). Jooniselt oli võimalik näha, et okaspuude (mänd ja kuusk) diameeter muutub vähem kõrguse kasvades kui lehtpuude (kask ja haab) korral.



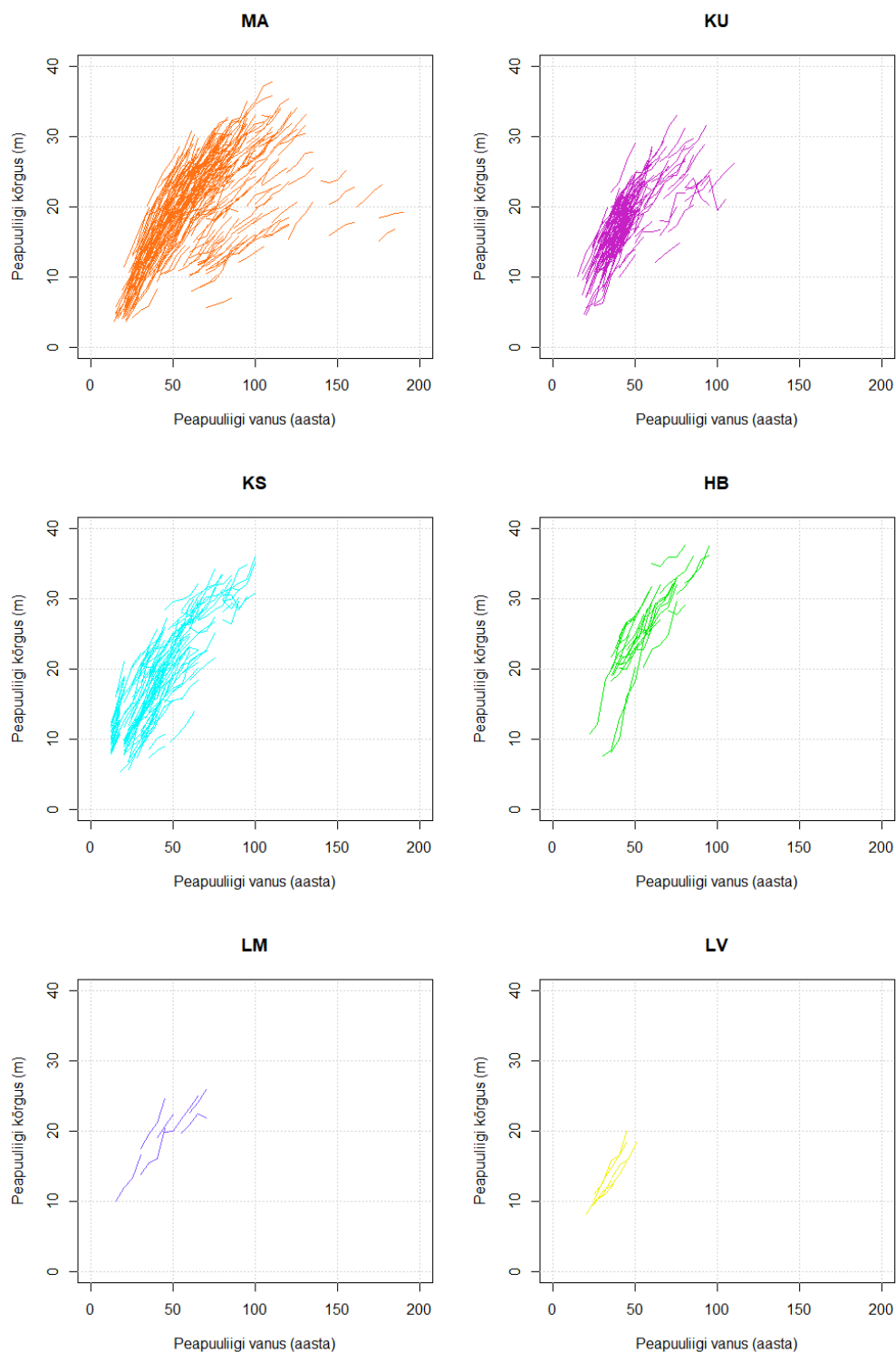
Joonis 1.12. Näslundi kõrguskõvera käitumine

Siit alates vaadati ainult neid proovitükke, kus peapuuliigi puude kõrgusi oli mõõdetud kõigil mõõtmistel vähemalt kuuel korral. Loodi uus üldandmete andmestiku (YD6), kuhu lisati proovitükid, mida oli mõõdetud vähemalt kahel korral. Järgnevas modelleerimiseks oli võimalik kasutada 682 proovitüki andmeid. Kitsenduste tegemise tagajärjel ühendati esimese rinde puud (P1) ja (YD6) ning loodi andmestik (P16). Selle põhjal loodi peapuuliigi puude andmestik (PP6), kus oli kõiki kõrgusid mõõdetud vähemalt kuuel korral ning proovitüki mõõtmisi oli tehtud kahel ja enamal korral. Näslundi kõvera seose abil arvutati keskmise diameetri (dp) põhjal keskmine kõrgus (hp). Joonisel (joonis 1.13.) vaadeldi keskmise kõrguse (hp) ja keskmise diameetri (dp) seost olevalt peapuuliigist.



Joonis 1.13. Pealiigi puude keskmise diameetri (dp) ja keskmise kõrguse (hp) hajuvusdiagrammid

Keskmise kõrguse (hp) uurimiseks vaadeldi veel lisaks sõltuvust vanusest (vanus) olenevalt peapuuliigist (joonis 1.14.). Joonisel on kujutatud keskmised diameetrid olenevalt mõõtmisaastast. Kohati on näha suuri hüppeid mõõtmisaastate vahel, mis võivad tuleneda hooldusraietest või muudest häiringutest.



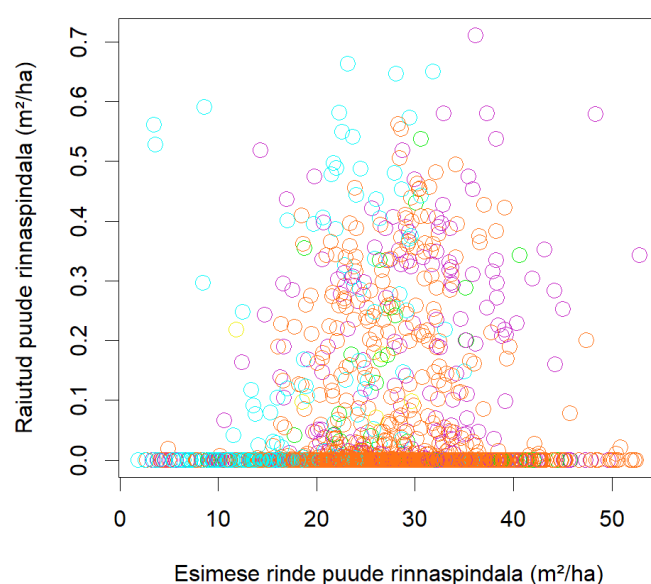
Joonis 1.14. Pealiigi puude vanuse (vanus) ja keskmise kõrguse (hp) sõltuvus

1.7. Hooldusraiete mõju

Hooldusraiete mõju uurimiseks vaadeldi rinnaspindala muutumist mõõtmisaastate vahel. Arvutuste tegemise jaoks loodi uus andmestik P1kk, milles olid lisaks eluspuudele surnud puude rinded (tabel 1.6.). Järgnevalt ühendati proovitüki mõõtmised paaridesse hinnati paaride rinnaspindala muutumist kahe mõõtmisaasta vältel. Uue andmestiku alusel arvutati kännu rinde (K) põhjal raiutav rinnaspindala (g1hak), mida võrreldi esimese rinde puude rinnaspindalaga (joonis 1.15). Väljaraie oli 294 mõõtmiskorral suurem kui 10%, mis moodustas umbes kümnendiku kõikidest mõõtmiskordadest.

Tabel 1.8. Surnud puude mõõtmiste arv rinnete kaupa.

Kood	Nimetus	Arv
K	Kännud	15548
L	Lamapuit	3
M	Maha kukkunud puud	2199
S	Surnud puud	9276
T	Tüükad	3065
Y	Üksikpuude rinne	116



Joonis 1.6. Rinnaspindala (g1ha) ja raiutava rinnaspindala (g1hak) võrdlus.

2. ÜLAKÕRGUS

2.1 Ülakõrguse arvutamise põhimõtted

Harvenduse tulemusena eemaldatakse alla jäänud puud ning alles jäänud keskmiste puude diameeter muutub. Kaasaegsed boniteerimistabelid võimaldavad arvutuslike andmete põhjal prognoosida keskmise kõrguse muutumist erinevates rinnetes ja vanustes. Tabelid ei võta arvesse metsamajanduslikke võtteid ning alternatiivina juurdekasvu hindamiseks on võimalik kasutada ülakõrgust (Laar & Akca, 1997).

Puistu tagavara juurdekasv on suuresti seotud puistu tihendusega. Seetõttu on puistu ülekõrguse kasutamine efektiivne viis puistu kasvutingimuste hindamiseks, kuna see pole nii lähedases seoses puistu tihedusega. (Burkhart, Tomé 2012).

Ülakõrguse arvutamine põhineb domineerivate puude kasvu hindamisel määratud aja jooksul. Senini pole kindlaks määratud ühtset meetodit, mida peaks ülekõrguse arvutamisel kasutama ning millised puid ning palju peaks arvutusel arvesse võtma. Üheks kõige tavalisemaks viisiks on esimese ja teise rinde keskmiste kõrguste kasutamine. Samuti pole standardiseeritud mitu puud peaks mõõtma ning kui suur peaks olema rinnete vaheline valim (Burkhart, Tomé 2012).

Kindlaks määratud arv kõige kõrgemaid hektaril kohta mõõdetakse. Valimi maht pole üheselt paika pandud ning puude arv tuleb mõõtjal ise määrata. Alternatiivina saab kasutada ka kõige jämedama diameetriga puid hinnangu andmiseks. Suurima diameetriga puid on mõõtjal kergem valida kui kõige kõrgemaid puid. Puude valik on alati subjektiivne, mitte suvaline (Burkhart, Tomé 2012).

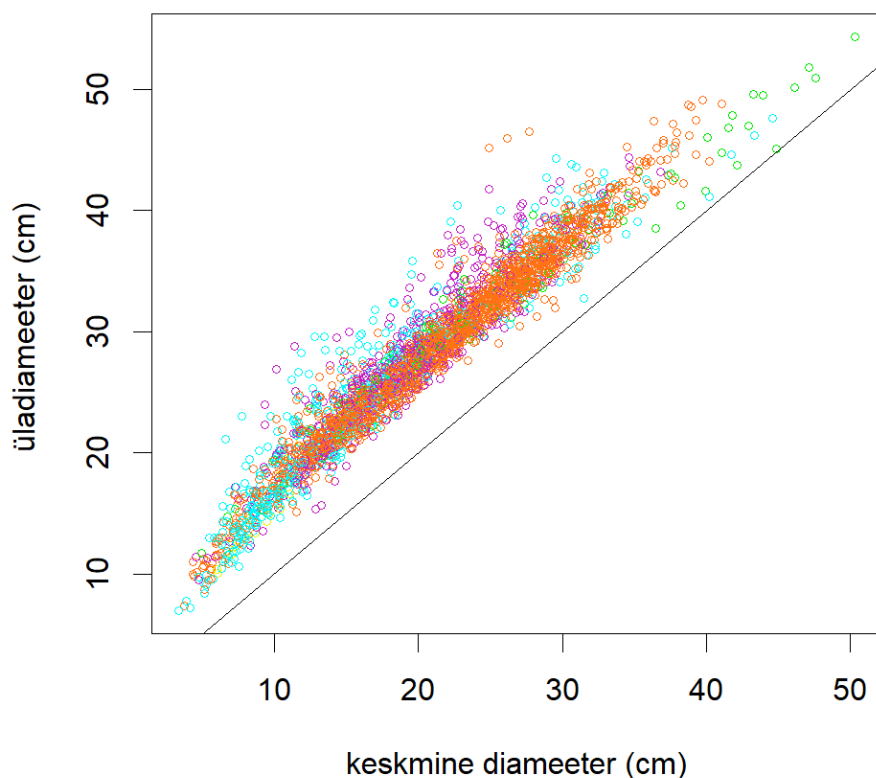
Harti ülekõrguse arvutamise meetodit kasutades tuleks võtta 100 kõige kõrgemat puud hektari kohta. Puistu tuleks jaotada 10 x 10 suuruseks alaks ning igalt ruudult tuleks võtta kõige kõrgeim puu. Selle eesmärgiks on vältida vigade tekkimist viljakuse erinevuse tõttu. Hummeli meetod põhineb sellel, et tervet puistut pole vaja jaotada ruututeks ning ülekõrgust saab arvutada ka nii, et tuleb valida hektari peale 100 kõige jämedamat puud olenemata sellest, kus need paiknevad. See võimaldab arvesse võtta domineerivaid puid, mis kasvavad ühes pundis koos. Weise arvutuste kohaselt peaks ülekõrguse määramiseks valima puistust 20% kõige jämedamat puud (Laar & Akca, 1997).

2.2 Üladiameeter

Peapuuliigi puude üladiameetri (dtopp) arvutatati R keskkonnas Hummeli meetodi (Hummel, 1953) põhimõtteid jälgides. Üladiameetri arvutamiseks võeti 100 kõige jämedamat puud hektari kohta. Raadiuse abil leitud pindalale (pindala) arvutati mitu puud tuleb üladiameetri arvutamisel kasutusele võtta. See tähendas, et näiteks 0,1 hektari suurusel proovitükil võeti üladiameetri arvutamiseks 10 kõige jämedamat puud. Iga proovitüki kohta arvutati üladiameeter eraldi.

Proovitükkide raadius oli enamasti 15, 20 või 25 (tabel 1.5.) ja sellele vastavalt olid proovitükkide pindalad 0,071, 0,126 või 0,196 hektarit ning seetõttu võeti arvuesse 7, 13 või 20 kõige jämedamat puud.

Peapuuliigi puude üladiameetri ja keskmise diameetri võrdlemisel võis näha, et üladiameeter oli võrreldes keskmise diameetriga suurem (joonis 2.1).



Joonis 2.1. Üladiameetri ja keskmise diameetri seos

2.3 Ülakõrguse arvutamine

Näslundi kõvera seose abil arvutati peapuuliigi puude ülakõrgus (htopp). Ülakõrgus oli enamusel juhtudel suurem kui keskmine kõrgus (joonis 2.2.)

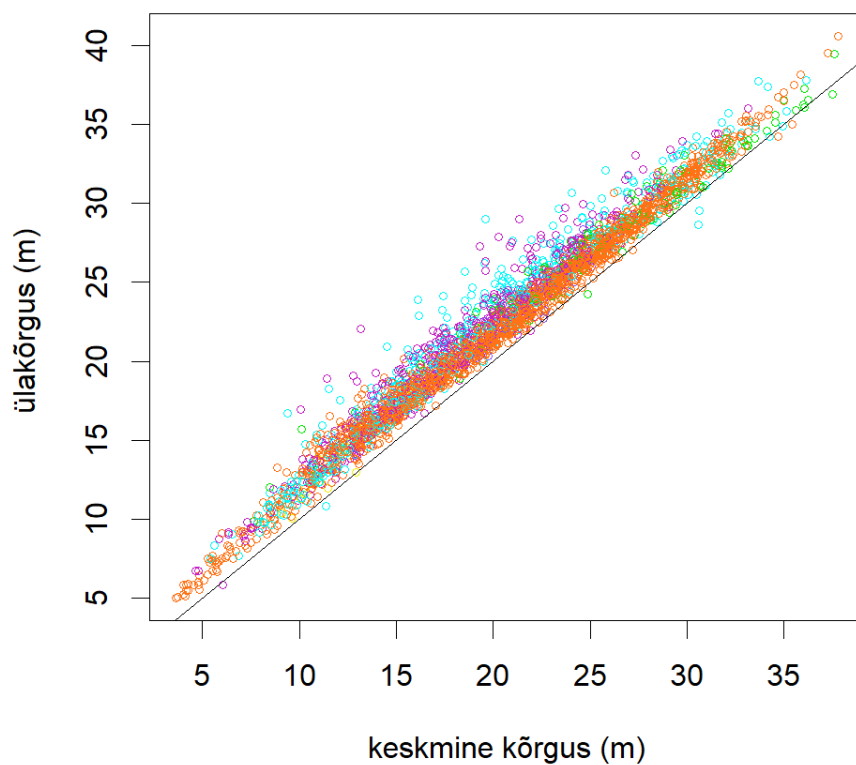
Ülakõrguse (htopp) ja keskmise kõrguse (hp) vahelist seost uuriti lineaarmudeleid kasutades:

$$\text{htopp} = a + \text{bhp} \cdot \text{hp} + \text{apev} + b \cdot X, \quad (4)$$

kus X - puistu takseertunnus (vanus, g1ha või n1ha),

a , bhp , b – mudeli parameetrid

apev – mudeli puuliigist sõltuv parameeter



Joonis 2.2. Üladiameetri ja keskmise diameetri seos

2.4 Puistu kõrguse kasvu arvutamine

Puistu keskmise kõrguse kasvu arvutamiseks kasutati diferentsmudelit (Kiviste, 1997), mis oli koostatud 1984...1993.a. Eesti riigimetsa takseerkirjelduste põhjal. Puistu ülakõrguse kasvu prognoosimiseks kasutati Rootsi männikute kasvumudelit (Elfving & Kiviste, 1997), mis oli koostatud Rootsi Põllumajandusülikooli püsiproovitükkide kordusmõõtmiste alusel.

Arvutuste tegemiseks valiti püsiproovitükkide mõõtmispaaride andmestikust (YD6kord) männikute andmestik (MA), kuhu valiti männikute kõrguse kasvumudelite kasutamiseks vajalikud tunnused. Andmestikku võeti ainult need mõõtmispaarid, kus mõõtmised olid toimunud viie aastase intervalli tagant. Neile tingimustele vastavaid mõõtmispaare oli kokku 1041, millest 157 korral oli mõõtmisaastate vahel toimunud hooldusraie. Mudelprognooside arvutamiseks lisati andmestikku (MA) männi kasvukohtade jaoks mulla koduhorisondi paksused (ohor), mis oli vajalik Eesti puistute kõrguskasvu diferentsmudeli kasutamisel.

2.4.1. Keskmise kõrguse kasvu diferentsmudel

Männikute keskmise kõrguse prognoosimiseks kasutati R kasutajafunktsiooni (FORMIS mudel 9), mis oli loodud eelnevalt mainitud Eesti diferentsmudeli (Kiviste, 1997) põhjal. Funktsiooni põhjal arvutati prognoositav keskmine kõrgus viie aastase perioodi möödudes (HPy). Modelleeritud keskmise kõrguse (Hpy) ja mõõtmiste põhjal arvatud keskmise kõrguse (HP) võrdlemiseks arvutati nende erinevus (HPe).

Keskmine kõrgus (HPy) hinnati järgneva Eesti diferentsmudeli alusel;

$$H2 = \frac{(H1 + Y + Z)}{\left(\frac{2 + 4 * (X * A2^{-1.58})}{H1 - X + Z} \right)} \quad (5)$$

kus

$$X = (8319) - 493 * \log(OH + 1) + 1355 * K$$

$$Y = \frac{X}{50^{1.58}}$$

$$Z = \sqrt{(H1 - Y)^2 + 4 * X * \frac{H1}{A1^{1.58}}}$$

H1 – keskmine kõrgus perioodi alguses (m)

A1 – puistu vanus perioodi alguses (aasta)

A2 – puistu vanus perioodi lõpus (aasta)

OH – mulla kõduhoridondi paksus (cm)

K – puistu tekkeviis (looduslik, K = 0, või kultuur, K = 1)

2.4.2. Ülakõrguse kasvu diferentsmudel

Ülakõrguse hindamiseks kasutati Rootsi männikute kasvumudelit (Elfving & Kiviste, 1997). Prognooside tegemiseks koostati mudeli põhjal R keskkonnas kasutajafunktsioon, mille põhjal arvutati ülakõrguse prognoos viie aastase perioodi möödudes (HTOPPy). Prognoositava ülakõrguse (HTOPPy) ja mõõtmiste põhjal arvatud keskmise kõrguse (HTOPP) võrdlemiseks arvutati kahe eelneva muutuja erinevus (HTOPPe).

Ülakõrgus (HTOPPy) arvutati järgneva Rootsi männikute kasvumudeli alusel;

$$H2 = \frac{(H1 + r + 23.8)}{\left[2 + \frac{\frac{29582}{A2^{1.7829}}}{H1 + r - 23.80} \right]} \quad (6)$$

kus

$$r = \sqrt{(H1 - 23.80)^2 + 29582 * \frac{HI}{A1^{1.7829}}}$$

H1 – puistu ülakõrgus perioodi alguses (m)

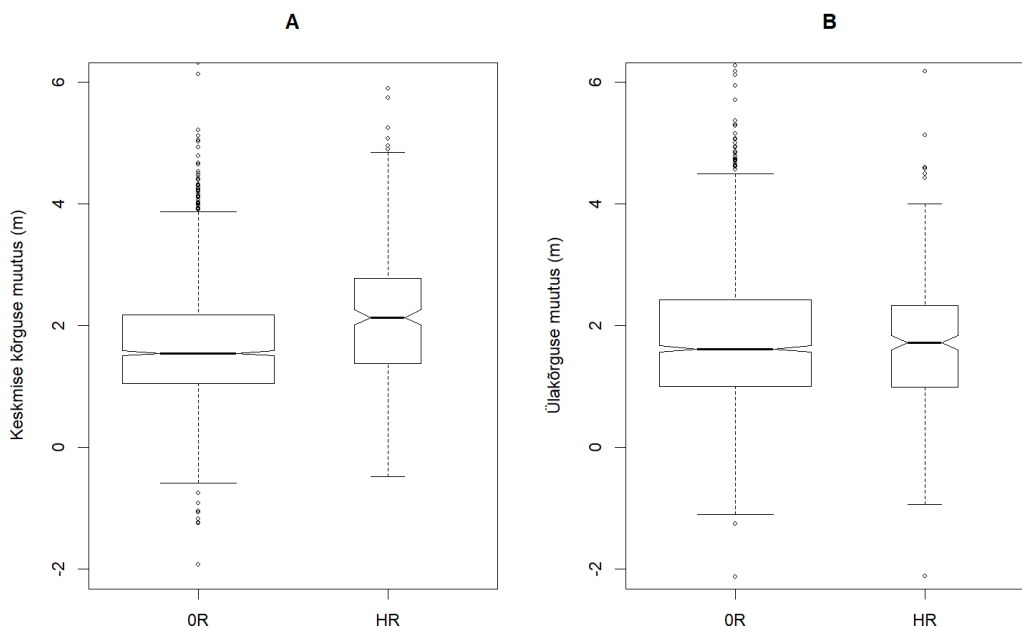
A1 – puistu vanus perioodi alguses (aasta)

A2 – puistu vanus perioodi lõpus (aasta)

3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1. Keskmise kõrguse ja ülakõrguse sõltuvus hooldusraietest

Ülakõrguse ja keskmise kõrguse hooldusraiest sõltuvuse uurimiseks loodi uus andmestik (YD6kord). See koostati püsiproovitükkide peapuuliigi tunnuste andmestikul YD6, kus kõrgust oli mõõdetud vähemalt kuuel puul. Andmestikku YD6kord moodustati järjestikuste mõõtmiste paarid, et neid oleks võimalik omavahel võrrelda (järjestikuste mõõtmiste vaheline periood oli enamasti viis aastat). Hooldusraieks (HR) loeti seda, kui mõõtmiskordade vahel oli raiutud puude rinnaspindala vähemalt 5% proovitüki rinnaspindalast. Sellele tingimusele vastavaid rinnaspindala muutusi oli mõõtmiskordade vahelisel perioodil 339. Järjestikuste mõõtmisaastate vahel, kus raiutud puude rinnaspindala oli muutunud vähem kui 5% hinnati raiutud rinnaspindala osakaal ebaoluliseks (OR). Keskmise kõrguse muutuse (kahe järjestikuse mõõtmise vahel) mediaanide erinevus (hooldusraiega (HR) ja hooldusraieta (OR) proovitükkide vahel) oli 47 cm, kuid samal andmestikul ülakõrguse muutuse mediaanide erinevus oli vaid 4 cm. Tulemusena võib metsakasvukäigu püsiproovitükkide andmete põhjal järeldada, et hooldusraied ülakõrgust (erinevalt keskmisest kõrgusest) peaaegu ei mõjuta (Joonis 3.1).



Joonis 3.1 Keskmise kõrguse (A) ja ülakõrguse (B) muutus kahe järjestikuse mõõtmise vahel sõltuvus proovitükkidel sõltuvalt hooldusraiest.

3.2. Ülakõrguse ja keskmise kõrguse vaheline seos

Ülakõrguse ja keskmise kõrguse vahelist seose uurimiseks koostati kuus mudelit (tabel 3.1). Mudelite puuliigist sõltuvad parameetrite hinnangus on esitatud tabelis 3.2.

Mudelite omavaheliseks võrdlemiseks kasutati Akaike informatsioonikriteeriumit (AIC). See kirjeldab mudelite kordajate statistilise olulisuse taset. Tulemuse väärtus sõltub mudeli keerukusest ning vastavusest andmetele. Mida väiksem on AIC väärtus, seda paremini vastab mudel andmetele (Crawley, 2007).

Tabel 3.1 Ülakõrguse mudelid

Mudel	R-valem	R ²	Si (jääkstandard hälve)	Parand arv	AIC
M1	htopp~hp	0,972	1,06	a = 2,761 bhp = 0,970	8063,7
M2	htopp~hp+pev	0,976	0,980	a = 2,265 bhp = 0,976	7615,1
M3	htopp~hp+pev+vanus	0,976	0,9756	a = 2,211 bhp = 0,969 bvanus = 0,003	7608,3
M4	htopp~hp+pev+g1ha	0,979	0,9282	a = 1,597 bhp = 0,942 bg1ha = 0,050	7337,3
M5	htopp~hp*pev+g1ha	0,979	0,9188	a = 1,643 b = 0,050 bhp = 0,940 bg1ha = 0,050	7286,6
M6	htopp~hp*pev+n1ha	0,961	0,9769	a = 1,837 b = 0,0001 bhp = 0,990 bn1ha = 0,0001	7536,1

Tabel 3.2. Ülakõrguse mudelite puuliigist sõltuvate parameetrite (apev) hinnangud.

PE	M2	M3	M4	M5a	M5B	M6a	M6b
MA	0,000	0	0	0	0	0	0
KU	0,859	0,905207	0,80922	0,289288	0,027977	0,307051	0,030499
KS	0,865	0,927399	1,119315	0,983407	0,006424	0,736703	0,004434
HB	0,194153	0,264864	0,36281	2,657683	0,088526	2,452628	0,089894
LM	-0,03536	0,021803	-0,19647	0,367583	0,028632	0,282757	-0,02006
LV	-0,11348	-0,0652	-0,26706	-1,88845	0,124783	-2,97087	0,201892

Esimesena (M1) modelleeriti keskmise kõrguse ja ülakõrguse seost (4) sirge võrrandiga olenemata peapuuliigist. Arvutusest selgus, et ülakõrgus on hinnanguliselt keskmisest kõrgusest 2.76 m võrra suurem, mis kõrguse suurenedes mõnevõrra väheneb .

Teise mudelina (M2) modelleeriti ülakõrgust sõltuvana keskmisest kõrgusest (4) arvestades peapuuliiki. Tulemustest selgus, et peapuuliik on ülakõrguse modelleerimisel väga oluline, sest mudeli vabaliikme korrigeerimine vastavalt peapuuliigile vähendas Akaike informatsioonikriteeriumi AIC väärtust ning ka R-funktsioon anova näitas mudeli laiendamise mõju statistiliselt olulisust ($p < 0,0001$).

Kolmanda mudeli (M3) korral uuriti lisaks eelnevale vanuse mõju ülakõrguse ja keskmise kõrguse seosele. Vanuse mõjukoefitsient oli 0.0029 ja see oli statistiliselt oluline ($p = 0,003$).

Neljanda mudeli (M4) korral võeti vaatluse alla rinnaspindala (g1ha) mõju ülakõrguse ja keskmise kõrguse seosele. Modelleerimisena selgus, et puistu rinnaspindala on prognoosimisel olulisem tunnus kui vanus. Rinnaspindala mõju koefitsient oli 0.0506 ning mudeli laiendamise statistiline olulisus (võrreldes mudeliga M2) alla 0.0001.

Mudelis M5 arvestati võrreldes mudeliga M4 võimalust, et ülakõrguse seos keskmise kõrgusega oli peapuuliigiti erinev nii erineva vabaliikme kui ka tõusu poolest (tabel 3.2 tulbad M5a M5b). Saadud mudel osutus eelnevatest (M1,...,M4) veenvalt parimaks (tabeli 3.1).

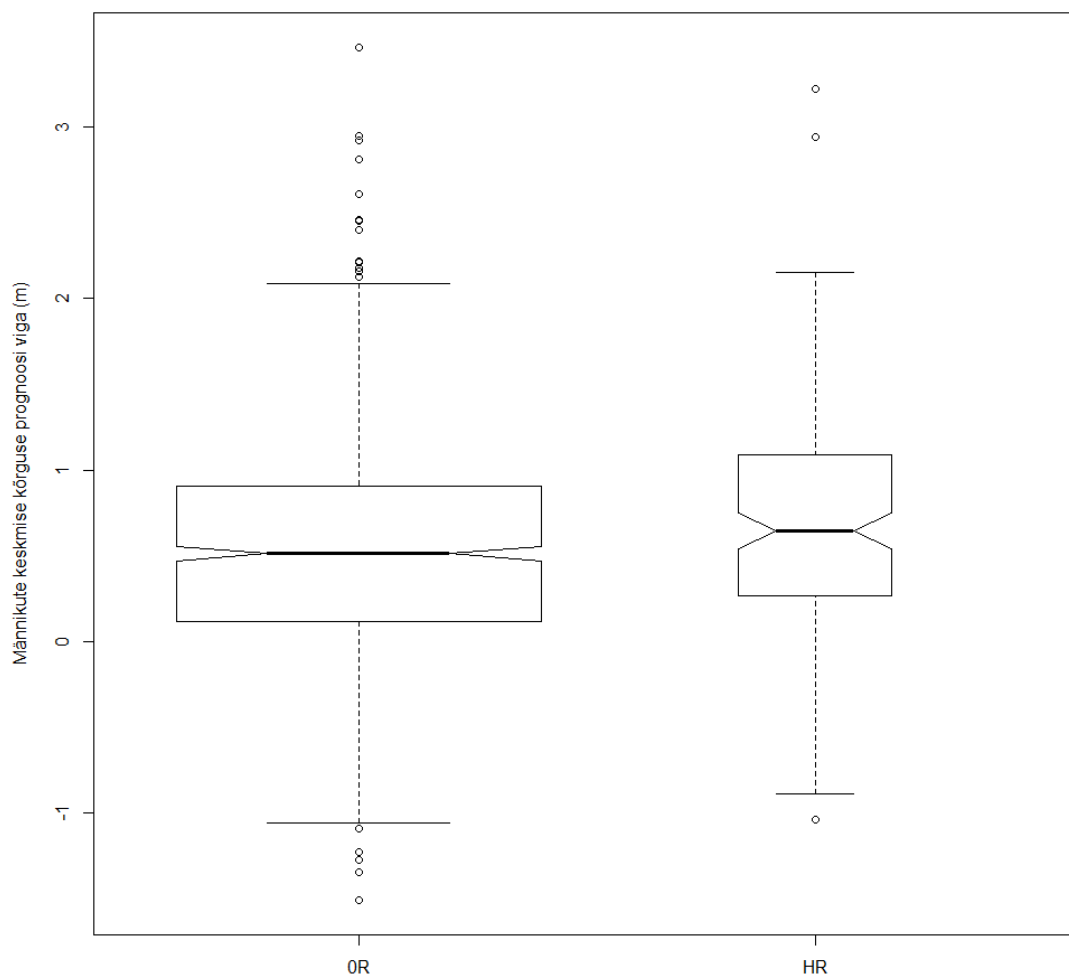
Kuuenda mudeli (M6) korral prooviti ülakõrguse seoses keskmise kõrgusega puistu rinnaspindala (g1ha) asemel kasutada puude arvu hektari kohta (n1ha), kuid selle tulemusel mudel halvenes.

Kokkuvõtteks võis öelda, et M5 (ülakõrguse mudel olenevalt keskmisest kõrgusest, rinnaspindalast ja peapuuliigist) oli kõige parem.

3.3 Puistu kõrguskasvu prognoosimise tulemused

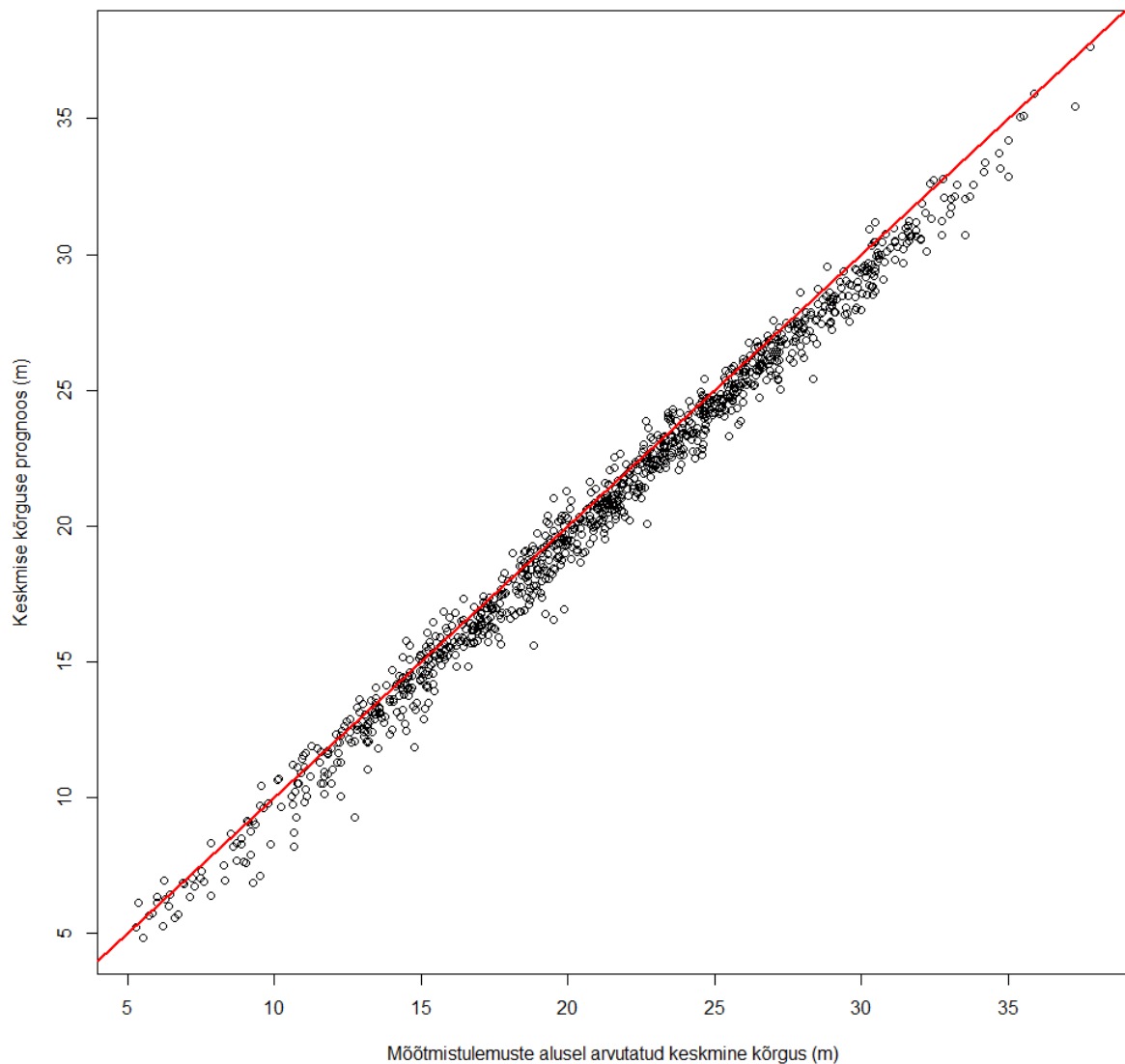
3.3.1 Keskmine kõrgus

Eesti diferentsmudeli (5) põhjal leitud männikute keskmise kõrguse hinnangu erinevus (HPe) oli hooldusraieteta (0R) mõõtmispaaride korral 53 cm. Hooldusraiete (HR) korral kasvas hinnangu erinevus veel 17 cm võrra ehk keskmise kõrguse erinevus prognoositud tulemuste ja mõõdetud tulemuste vahel (HPe) oli kokku 70 cm (Joonis 3.2).



Joonis 3.2 Männikute keskmise kõrguse prognoosi viga (HPe) vahepealse hooldusraieta (0R) ja hooldusraiega (HR) mõõtmispaaride korral.

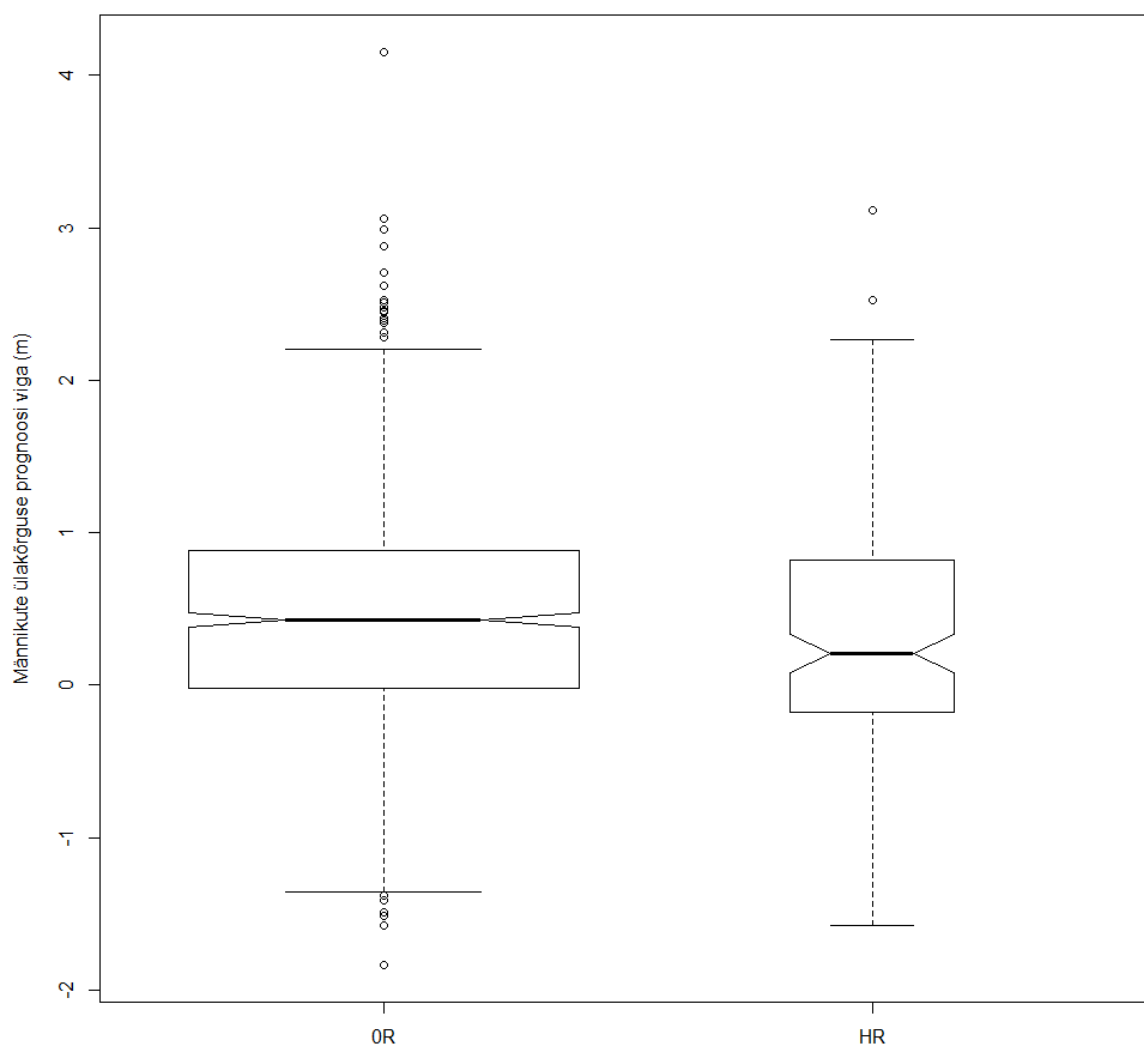
Prognoositud männikute keskmine kõrgus (HPy) ja mõõtmistulemuste põhjal arvutatud keskmine kõrgus (HP) on esitatud joonisel 3.3. Joonis 3.3. kinnitab joonisel 3.2 esitatud tulemust, mille kohaselt perioodi lõpus mõõdetud puistu keskmine kõrgus on süstemaatiliselt suurem kui mudeliga prognoositud. Saadud tulemus on kooskõlas M. Lang jt (2017) avaldatud tulemusega, mille järgi Järvelja ümbruse püsiproovitükkidel puistu keskmine kõrgus kasvas kümne aasta jooksul keskmiselt 0,92 m enam kui Kiviste (1997) diferentsmudeliga prognoositud.



Joonis 3.3 Männikute keskmise kõrguse prognoos ja mõõtmistulemuste alusel arvutatud keskmine kõrgus

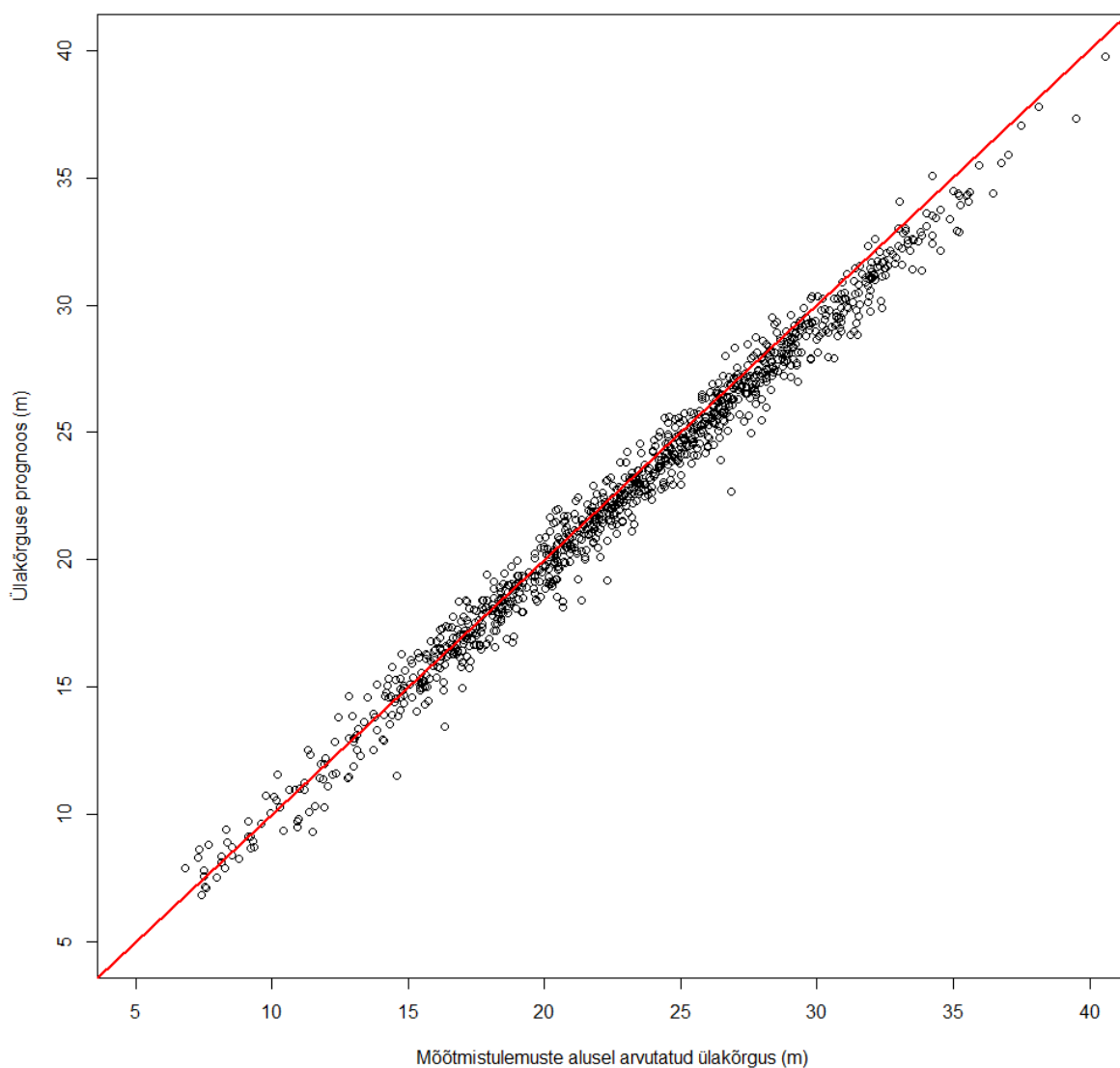
3.3.2 Ülakõrgus

Rootsi männikute kõrguskasvu mudeli (6) põhjal arvatud männikute ülakõrguse hinnangu erinevus (HTOPPe) oli hooldusraieteta (0R) korral 43 cm. Vahepealsete hooldusraietega (HR) proovitükkidel oli prognoositud ülakõrguse viga 14 cm võrra väiksem (29 cm, joonis 3.4).



Joonis 3.4 Männikute ülakõrguse prognoosi viga (HTOPPe) vahepealsete hooldusraietega (HR) ja hooldusraieta (0R) mõõtmispaaride korral

Proгноositud ülakõrgust (HTOPPy) ja mõõtmistulemuste põhjal arvutatud ülakõrgust (HTOPP) võrreldi omavahel (joonis 3.5.) Joonis kinnitas, et Rootsi männikute ülakõrguse diferentsmudel prognoosib männikute kõrguskasvu (püsiproovitükkide mõõtmiste alusel arvutatud tulemustest) väiksemaks.



Joonis 3.5 Männikute ülakõrguse prognoos ja mõõtmistulemuste alusel arvutatud ülakõrgus.

3.3.3 Puistu keskmise kõrguse ja ülakõrguse võrdlus

Puistu keskmise kõrguse ja ülakõrguse kasvumodelite analüüs Eesti männikute püsiproovitükkide andmeil näitas ootuspäraselt, et puistu keskmine kõrgus hooldusraiete mõjul kasvab, kuid hooldusraiete mõju ülakõrgusele ei olnud statistiliselt usaldusväärne. Nii keskmise kõrguse kasvumudel kui ka ülakõrguse kasvumudel hindasid puistu viie aasta kõrguskasvu väiksemaks kui püsiproovitükkide mõõtmistelt arvatud (vastavalt 53 cm ja 43 cm hooldusraieta proovitükkide korral). Kuna keskmise kõrguse kasvumudel oli koostatud (Eesti) metsakorralduse takseerikirjelduste põhjal, aga ülakõrguse kasvumudel (Rootsi) püsiproovitükkide andmeil, siis niivõrd väike süstemaatilise vea erinevus on üllatav. See, muutuvate kasvutingimuste korral erivanuseliste puistute kõrguse aegrida erineb tegelikust kõrguse kasvust, on ootuspärane (Lang jt 2017), kuid püsiproovitükkide kordusmõõtmiste põhjal koostatud mudel võinuks prognoosida süstemaatilise veata.

Ülakõrguse puuduseks võrreldes keskmise kõrgusega tuleb lugeda ka asjaolu, et ülakõrguse hinnang püsiproovitükkidel oli mõnevõrra varieeruvam kui keskmise kõrguse hinnang (viie aasta juurdekasvu standardhälve vastavalt 0,89m ja 0,79m).

Kokkuvõttena tuleb järeldada, et keskmise kõrguse asendamine ülakõrgusega oleks Eesti metsanduses ennatlik, kuid ülakõrguse kasutamine koos keskmise kõrgusega annab puistu kohta olulist lisainformatsiooni.

KOKKUVÕTE

Puistute hindamisel kasutatakse Eestis vastavalt metsa korraldamise juhendile keskmist kõrgust. Aritmeetilise keskmise põhjal arvutatud boniteerimistabelid ei võta arvesse keskmise kõrguse sõltuvust metsamajanduslikest töödest. Alternatiivina on võimalik kasutada ülakõrgust, mida kasutatakse puistu kõrgusena mitmetes teistes maades.

Süsteemid nagu MOTTI kasutavad oma arvutustes ülakõrgust. Selliste süsteemide kasutamine pole Eestis hetkel mõeldav, kuna puistu takseermisel ja boniteerimisel kasutatakse ülakõrguse asemel keskmist kõrgust. Ülakõrguse ja keskmise kõrgus seose abil on võimalik ülakõrgust arvutada ning seeläbi ülakõrgusest lähtuvaid süsteeme kasutada.

Uuringu tegemiseks kasutati metsa kasvukäigu püsiproovitükkide (KKPRT) andmebaasi. Arvutused tehti R keskkonnas andmebaasifailide yld.dbf, puud.dbf, kkt.dbf, raadius.dbf ja elem_vanus.dbf põhjal.

Tulemusena leiti, et keskmise kõrguse muutuse mediaanide erinevus (hooldusraiega ja hooldusraieta proovitükkide vahel) oli 47 cm. Samadel tingimustel arvutatud ülakõrguse muutuse mediaanide erinevus oli 4 cm. Uurimuse põhjal leiti tõestust eelnevalt esitatud hüpoteesile, et ülakõrgus on hooldusraietest vähem sõltuvam kui keskmine kõrgus.

Ülakõrguse modelleerimise tulemusena võib öelda, et ülakõrguse mudel olenevalt keskmisest kõrgusest, rinnaspindalast ja peapuuliigist on antud töös arvutatud mudelitest kõige parem. Mudeli AIC väärtus on 7286,6, mis oli magistritöös koostatud mudelitest väiksem.

Keskmise kõrguse kasvumudel ja ülakõrguse kasvumudel hindasid hooldusraieta puistu viie aasta kõrguskasvu mõõdetust väiksemaks (vastavalt 53 cm ja 43 cm). Ülakõrguse prognoos oli täpsem, kuid keskmise kõrguse eeliseks ülakõrguse ees oli väiksem standardhälve (vastavalt 79 ja 89 cm)

Magistritöö tulemuste põhjal oleks keskmise kõrguse asendamine ülakõrgusega veel ennatlik, kuid ülakõrguse kasutamine koos keskmise kõrgusega annab puistu kohta olulist lisainformatsiooni.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Crawley M.** (2007) The R Book. Wiley: pp. 353-354
- Elfving B., Kiviste A.** (1997) Construction of site index equations for *Pinus Sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. *Forest Ecology and Management* 98 pp 125-134
- Burkhardt H., Tome M.** (2012) Modeling Forest Trees and Stands. Netherlands, Springer, XIV, 458 p.
- Hummel, F.C.** (1953). Uses of the "volume/basal area line" for determining standing Crop volumes. Report 1951/52, Forestry commission, her Majesty's Stationery Office. London, UK. 80p
- Kiviste A., Hordo M., Kangur A., Kardakov A., Korjus H., Laarmann D., Lilleleht A., Metslaid S., Sims A.** (2015) Monitoring and evaluating forest dynamics: the Estonian Network of Forest Research Plots. In: Proceedings of the Biennial International Symposium "Forest and sustainable development". Brasov, Romania. 24-25.10.2014. Brasov: Transilvania University Press: pp. 110 - 117.
- Kiviste, A., Hordo M.** (2002) Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustik. *Metsanduslikud Uurimused* 37, 43-58
- Kiviste, A.** (1999). Pidev Metsakorraldus. Eesti puistute kasvumudelitest. EMPÜ Metsandusteaduskonna toimetised lk 28-36
- Laar, A., Akça, A.** (1997) Forest Mensuration
- Lang M., Arumäe T., Laarman D., Kiviste A.** (2017) Puistu kõrguskõverate hindamine – *Metsanduslikud uurimused* 67, 6-16
- Mehtätalo M., Miguel S, and Gregoire T.** (2015) Modeling height-diameter curves for prediction: *Can. J. For. Res.* 45: 826–837
- Näslund, M.** (1937) Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog (Forest research institute's thinning experiments in Scots pine forests). *Meddelanden från statens skogsförsöksanstalt Häfte 29* (rootsi k).

LISAD

Lisa 1. Arvutuste ja jooniste skript R keskkonnas

```
rm(list=ls())

setwd("C:/Andres2018/Teadus/KKPRT2018-04-05")

# Puuliigile vastava värvi kood

Plvarv <- function (pl) {

  plx <- factor(pl)

  varvid <- list('#FF7215' = "MA", '#C521C5' = "KU", '#00FAFA' = "KS",
                '#00EB00' = "HB", '#414141' = "TA", '#5AAABE' = "SA",
                '#8055FF' = "LM", '#F0F000' = "LV", '#CDCD89' = NA)

  levels(plx) <- varvid

  if (length(plx[is.na(plx)]) > 0) {
    plx[is.na(plx)] <- "#CDCD89"
  }

  return(as.vector(plx))
}

# Kirjandus: Kiviste, Andres, 1999. Eesti puistute
# kasvumudelitest.
#
# OP-H(m) - -P3 - Stnd
# P2-A(a) - - - Stnd
# P3-A(a) - Rand- - Stnd
# P4-H(m) - -P2 - Stnd
# P5-Cult(0/1) - - - Stnd
# P6-OHOR(cm) - - - Stnd
#*****
```

```

# P1 = "MA"

H.mdl.9.1<-function(p2, p3, p4, p5, p6){
  ipf1 = (8319) - 493 * log(p6 + 1) + 1355 * p5
  ipf2 = ipf1 / 50 ^ (1.58)
  ipf3 = sqrt((p4 - ipf2)^2 + 4 * ipf1 * p4 / p2 ^ (1.58))
  return((p4+ipf2+ipf3) / (2+4 * ipf1 * (p3^(-(1.58))) / (p4-ipf2+ipf3)))
}

H.Rootsi.MA<-function(A1, H1, A2){
  r = sqrt((H1-23.8)^2+29582*H1/(A1^1.7829))
  return((H1+r+23.8)/(2+(29582/(A2^1.7829))/(H1+r-23.8)))
}

# Pakett dbf-failide sisestamimiseks

library(foreign)

#####

# Algandmete sisestamine ja esmane parandamine      #
#####

# YLD

# Yldandmed sisse

YLD<-read.dbf("./andmed/yld.dbf")[1:31]

# Tunnuste nimed väiketähtedeks

names(YLD)<-tolower(names(YLD))

# Parandame valed vanused kolmel proovitüki mõõtmisel

YLD[which(YLD$prt==255&YLD$aasta==2014),10]<-45
YLD[which(YLD$prt==445&YLD$aasta==2015),10]<-52
YLD[which(YLD$prt==452&YLD$aasta==2015),10]<-122

# Ainult KKPRT andmed

YLD<-subset(YLD,prt<=1133) # 2919 prt mõõtmist

length(unique(YLD$prt)) # 750 proovitükki

```



```

# Vaatame prt jaotust aastate järgi
table(YLD$aasta)

# Jaotus aastate ja mõõtmiskordade järgi
X<-with(YLD,table(kord,aasta))

# Teeme joonise
png("JN_prt_jaotus_aasta_kord.png",width=1000,height=500)
par(mar=c(5,4,1,1)+0.1,cex=1.3)
barplot(X,las=3,col=rainbow(6),xlab="Mõõtmisaasta",ylab="Prt mõõtmiste arv",
        legend.text=paste(1:6,". mõõtmine"),args.legend=list(x="topleft"))
dev.off()

# Jaotus KKT järgi
table(YLD$kktr) # liiga palju KKT

# Püüame tekitada KKT tüübirühmad
KKT<-read.dbf("kkt.dbf",as.is=TRUE)
names(KKT)<-tolower(names(KKT))

# Lisame tüübirühma tunnuse
YLD<-merge(YLD,subset(KKT,select=c(kkt,mtyyp)))
unique(YLD$mtyyp)

YLD$kktr<-factor(YLD$mtyyp,levels=c("Loo","Nõmme","Palu","Laane","Salu","Sooviku",
        "Rabastuv","Rohusoo","Samblasoo","Kõdusoo","Põllumaa"))
unique(YLD$pe)

# Teeme peapuuliigi faktortunnuseks
YLD$pef<-factor(YLD$pe,levels=c("MA","KU","KS","HB","LM","LV","PN","RE"))

# Jaotus kktr ja pef järgi
X<-with(YLD,table(pef,kktr))

# Teeme joonise
png("JN_prt_jaotus_kktr_pef.png",width=1000,height=800)

```

```

par(mar=c(8,4,1,1)+0.1,cex=1.3)

barplot(X,las=3,col=Plvarv(levels(YLD$pef)),xlab="",ylab="Prt mõõtmiste arv",
       legend.text=levels(YLD$pef),args.legend=list(x="topright"))

mtext("Kasvukoha tüübirühm",1,6,cex=1.3)

dev.off()

# Lühendame YLD faili YD failiks võttes ainult hädavajalikud tunnused
YD<-subset(YLD,select=c(prt,aasta,pe,a,r1,kord,kktr))

length(unique(YD$prt))

names(YD)

summary(YD)


# KÕIK PUUD

# Puude andmed sisse
PD<-read.dbf("./andmed/puud.dbf")[1:17]

names(PD)<-tolower(names(PD))

# Valime ainult KK ja PK proovitükid <=1133
PD<-subset(PD,prt<=1133)

length(unique(PD$prt)) # 750 prt

# Lühendame PD faili võttes ainult hädavajalikud tunnused
PD$d2<-with(PD,ifelse(is.na(d2),0,d2))
PD$d<-with(PD,ifelse(d2>0,(d1+d2)/2,d1))

P<-PD[,c(1:10,18)]

table(P$rin)

summary(P)

# Eraldame kõik eluspuud
PE<-subset(P,rin%in%c("1","2","A","E","H","J","Y"))

# Puude arv, kus d1 on NA
sum(is.na(PE$d1)) # 613

# Jätame välja 613 eluspuud, millel d1 on NA

```

```

PE<-subset(PE,!is.na(d1))

sum(PE$d1==0,na.rm=T)

subset(PE,d1==0)

# Jätame välja 6 puud diameetriga 0

PE<-subset(PE,d1>0)

nrow(PE)      # 382441 eluspuu mõõtmist

nrow(subset(PE,d>0))

sum(is.na(PE$puu)) # Eluspuudel on puu number kõigil olemas

# Teeme kokkuvõtte eluspuudest prt ja aasta järgi

X<-aggregate(d1~prt+aasta,data=PE,length)

names(X)[3]<-"nelus"

min(X$nelus) # Minimaalne eluspuude arv 17

length(unique(X$prt))

sum(X$nelus)

YD<-droplevels(merge(X,YD))

plot(density(YD$nelus),xlab="Puude arv
proovitükil",ylab="Tõenäosustihedus",main="",col="blue",lwd=2)

# Eraldame I rinde puud

P1<-subset(PE,rin=="1")

# Teeme kokkuvõtte I rinde puudest prt ja aasta järgi

X<-aggregate(d~prt+aasta,data=P1,length)

names(X)[3]<-"n1"

min(X$n1) # Minimaalne I rinde puude arv 6

length(unique(X$prt))

sum(X$n1)

YD<-merge(X,YD)

lines(density(YD$n1),col="red",lwd=2)

legend("topright",c("Eluspuud","I rinde puud"),col=c("blue","red"),lwd=2)

# Lihtsad kontrollid

with(YD,sum(n1>nelus))

```

```

with(YD,sum(n1==nelus))
#with(YD,hist(n1/nelus))
with(YD,sum(n1/nelus<0.5))
# Arvutame igale prt mõõtmisele enamuspuuliigi G järgi
X<-aggregate(I(d^2)~prt+aasta+pl,data=P1,sum)
names(X)[4]<-"d2"
XX<-aggregate(d2~prt+aasta,data=X,max)
names(XX)[3]<-"mxd2"
XXX<-merge(X,XX)
XXXX<-subset(XXX,d2==mxd2)
names(XXXX)[3]<-"peg"
YD<-merge(YD,XXXX[,1:3])
subset(YD,as.character(pe)!=as.character(peg))

# Vaatame, kui sageli peg muutub mõõtmiste vahel
X<-aggregate(peg~prt,data=YD,function(x) length(unique(x)))
table(X$peg)
XX<-aggregate(pe~prt,data=YD,function(x) length(unique(x)))
table(XX$pe)
PEGmuutub<-X$prt[X$peg>1]
subset(YD,prt %in% PEGmuutub)

# Võtame peapuuliigiks viimase mõõtmise peg
X<-aggregate(aasta~prt,data=YD,max)
names(X)[2]<-"vaasta"
YD<-merge(YD,X)
X<-subset(YD,aasta==vaasta,select=c(prt,peg))
names(X)[2]<-"pev"
YD<-merge(YD,X)

```

```

YD<-droplevels(YD)

PEvahetub<-subset(YD,as.character(pe)!=as.character(pev))

with(YD,table(pe,pev))


# Tegelikult pidid olema õiged raadiused failis "RAADIUS.dbf"
RAADIUS<-read.dbf("./andmed/raadius.dbf")[1:7]
names(RAADIUS)<-tolower(names(RAADIUS))
R<-subset(RAADIUS,rinne=="1")[,c(1,2,4)]
with(R,length(unique(paste(prt,aasta))))
YD<-merge(YD,R)

# Siiski, ka failis raadius on üks viga sisse jäänud
# Proovitüki 244 mõõtmisaatal 2014 on küll raadius märgitud 25m,
# aga kaugemal kui 20m puude mõõtmisi ei ole
subset(RAADIUS,prt==244)
subset(P,prt==244 & aasta==2014 & kaug>20)
subset(YD,prt==244)

# Seega muudame prt 244 2014 mõõtmisaasta raadiuseks 20 m
YD$raadius<-with(YD,ifelse(prt==244 & aasta==2014,20,raadius))
table(YD$raadius)


# Vanused on failis elem_vanus
EV<-read.dbf("./andmed/elem_vanus.dbf")[1:7]
names(EV)<-tolower(names(EV))
EV<-subset(EV,prt<=1133)
X<-subset(EV,rin=="1",select=c(prt,pl,synd,mr_synd))
subset(X,synd==0)
names(X)[2]<-"pev"
YD<-merge(YD,X)
sum(is.na(YD$synd))

```

```

sum(is.na(YD$mr_synd))

YD$synd<-with(YD,ifelse(synd==0,NA,synd))

# Kontrollime, kas synd määrata andmetes vanus a muutub aastaga õigesti
X<-subset(YD,is.na(synd)& is.na(mr_synd))
X$saasta<-with(X,aasta-a)
XX<-aggregate(saasta~prt,data=X,sd)
subset(XX,saasta>0)

# Arvutame vanuse Allan Simsi soovitusega
YD$vanus<-with(YD,ifelse(!is.na(synd),aasta-synd,ifelse(!is.na(mr_synd),
    aasta-mr_synd,a)))
sum(is.na(YD$vanus))

# Kontrollime, kas igal proovitükil on vanus olemas ja aastaga kooskõlas
XX<-aggregate(I(aasta-vanus)~prt,data=YD,function(x) sum(x-min(x)))
names(XX)[2]<-"sd"
sum(XX$sd==0)
table(subset(YD,aasta==vaasta)$pev)
YD$pindala<-with(YD,pi*raadius^2/10000)
table(YD$pindala)
table(YD$raadius)

#####

# Arvutame prt takseertunnused #
#####

# Arvutame puuliigigrupi
YD$plgr<-with(YD,ifelse(pev=="MA",1,ifelse(pev=="KU",2,ifelse(pev=="KS",3,4))))
# I rinde puude arv
YD$n1ha<-with(YD,n1/pindala)

```

```

hist(YD$n1ha)

plot(n1ha~vanus,data=YD)

png("JNnh1-vanus.png",height=1500,width=1500)

par(mfrow=c(2,2),mar=c(5,5,1,1)+0.1,cex=2)

for (i in 1:4) {

plot(NULL,xlim=c(0,120),ylim=c(0,8000),xlab="Vanus",ylab=expression(paste("Puude arv
(ha"^-1},")))

for (pr in unique(subset(YD,plgr==i)$prt)){

  X<-subset(YD,prt==pr)

  lines(n1ha~vanus,data=X,col=Plvarv(X[1,2]))

  points(n1ha~vanus,data=X,col=Plvarv(X[1,2]),pch=20,cex=0.8)

}

legend("topright",legend=unique(subset(YD,plgr==i)$pev),col=Plvarv(unique(subset(YD,plgr==i)$pev)),pch=20,lwd=1)

}

dev.off()

# Vaatleme d1 ja d2 erinevust

plot(d1~d2,data=subset(P1,d2>0),col=Plvarv(pl),pch=20,cex=0.7)

with(subset(P1,d2>0),sd(d1-d2,na.rm=T))

with(subset(P1,d2>0),mad(d1-d2,na.rm=T))

with(subset(P1,d2>0),sum(abs(d1-d2)>10))


# lisame andmestikku mõõtmiskorra ja enamuspuuliigi

X<-subset(YD,select=c(prt,pev,aasta,vanus,kord))

P1<-merge(P1,X)


# Kontrollime,ega ei ole topeltnumbriga puid

with(P1,length(unique(paste(prt,aasta,puu))))

table(P1$kord)

```

```

# Ühendame paarikaupa puude mõõtmised
P1kord<-data.frame(NULL)
for (i in 1:5){
  X<-subset(P1,kord==i)
  XX<-subset(P1,kord==i+1)
  names(XX)[c(2,4:14)]<-toupper(names(XX)[c(2,4:14)])
  XXX<-merge(X,XX)
  P1kord<-rbind(P1kord,XXX)
}

P1kord<-droplevels(P1kord)
# Kontrollime ebanormaalsid juurdekasve
with(P1kord,sum(PL!=pl))
plot(D~d,data=P1kord,cex=0.5,col=Plvarv(pl),xlab="Diameeter perioodi algul (cm)",
      ylab="Diameeter perioodi lõpus (cm)")
abline(0,1)
with(P1kord,sum(D1-d1<(-5)))
with(P1kord,sum((D1-d1)/(AASTA-aasta)>2))
#Kasvas liiga palju
subset(P1kord,(D1-d1)/(AASTA-aasta)>3)
# Kahanes liiga palju
subset(P1kord,(D1-d1)<(-10))
subset(P1kord,prt==764 & puu==195)
# Joonistame ka välja
PV<-subset(P1,prt==207 & puu==133)
plot(d1~vanus,data=PV,type="o",ylim=c(0,max(d1)+5),col="blue")
lines(d2~vanus,data=PV,col="red")
points(d2~vanus,data=PV,col="red")

```



```

# Teeme peapuuliigi puude mõõtmise faili
PP<-merge(P1,subset(YD,select=c(prt,aasta,pev)))
PP<-subset(PP,as.character(pl)==as.character(pev))
X<-aggregate(d1~prt+aasta,data=PP,length)
names(X)[3]<-"np"
hist(X$np)
min(X$np)
YD<-merge(YD,X)
with(YD,sum(np>n1))

YD$npha<-with(YD,np/pindala)

# Arvutame rinnaspindala eluspuudele
X<-aggregate(I(d^2)~prt+aasta,data=P,sum)
names(X)[3]<-"de2"
YD<-merge(YD,X)
YD$geha<-with(YD,de2*pi/40000/pindala)
plot(geha~vanus,data=YD)
YD$de<-with(YD,sqrt(de2/nelus))
plot(de~vanus,data=YD)

# Arvutame rinnaspindala I rinde puudele
X<-aggregate(I(d^2)~prt+aasta,data=P1,sum)
names(X)[3]<-"dr12"
YD<-merge(YD,X)
YD$glha<-with(YD,dr12*pi/40000/pindala)
plot(glha~vanus,data=YD)
# Takseerkeskmise diameeter
YD$dr1<-with(YD,sqrt(dr12/n1))

```

```

plot(dr1~vanus,data=YD)

# Arvutame rinnaspindala peapuuliigi puudele
X<-aggregate(I(d^2)~prt+aasta,data=PP,sum)
names(X)[3]<-"dp2"
YD<-merge(YD,X)
YD$ghpa<-with(YD,dp2*pi/40000/pindala)
plot(ghpa~vanus,data=YD)
YD$dp<-with(YD,sqrt(dp2/np))
plot(dp~vanus,data=YD)

# Arvutame keskmise kõrguse peapuuliigi jaoks
# Teeme mõõdetud diameeter-kõrguste andmestiku

DHPP<-subset(PP,h>1.3)
min(DHPP$h)

# Arvutame puuliigigrupi
DHPP$plgr<-with(DHPP,ifelse(pev=="MA",1,ifelse(pev=="KU",2,ifelse(pev=="KS",3,4))))
png("JNd-h.png",height=1500,width=1500)
par(mfrow=c(2,2),mar=c(5,5,1,1)+0.1,cex=2)
for (i in 1:4) {
  plot(h~d,data=subset(DHPP,plgr==i),xlim=c(0,80),ylim=c(0,50),xlab="Diameeter
(cm)",ylab="Kõrgus (m)",
    col=Plvarv(pev),pch=20,cex=0.5)

  legend("bottomright",legend=unique(subset(DHPP,plgr==i)$pev),
    col=Plvarv(unique(subset(YD,plgr==i)$pev)),pch=20)
}
dev.off()

```

```

X<-aggregate(h~prt+aasta,data=DHPP,length)
names(X)[3]<-"nhp"
hist(X$nhp)
max(X$nhp)
nrow(subset(X,nhp<6))
DHPP<-merge(DHPP,X)
YD<-merge(YD,X)

# Üks proovitükk on selline, et peapuuliigi kõrgust pole mõõdetud
subset(YD,is.na(nhp))
subset(YD,prt==255)
PRT255<-subset(P,prt==255 & aasta==1999)
# Jätame alles mõõtmised, kus peapuuliigist on kõrgusi mõõdetud 6 või enam

DHPP6<-subset(DHPP,nhp>=6)
YD$nka<-NA
YD$skb<-NA
for (i in 1:nrow(YD)) {
  X<-subset(DHPP6,prt==YD$prt[i] & aasta==YD$aasta[i])
  if (YD$nhp[i]>=6)
  {
    YD$nka[i]<-coef(lm(I(d1/(h-1.3)^(1/3))~d1,data=X))[1]
    YD$skb[i]<-coef(lm(I(d1/(h-1.3)^(1/3))~d1,data=X))[2]
  }
}

plot(nka~skb,data=YD)
plot(skb~vanus,data=YD)
plot(skb~dp,data=YD,col=Plvarv(pe))

```

```

plot(nka~dp,data=YD,col=Plvarv(pe),cex=0.6,pch=20)
M<-lm(nka~log(dp)+pe,data=YD)
summary(M)
D<-1:50
Pr<-predict(M,newdata=data.frame(dp=D,pe="MA"))
lines(D,Pr,col="red")
Pr<-predict(M,newdata=data.frame(dp=D,pe="KU"))
lines(D,Pr,col="magenta")
Pr<-predict(M,newdata=data.frame(dp=D,pe="KS"))
lines(D,Pr,col="blue")
Pr<-predict(M,newdata=data.frame(dp=D,pe="HB"))
lines(D,Pr,col="green")

```

```

plot(nkb~dp,data=YD,col=Plvarv(pe),cex=0.6,pch=20)
M<-lm(nkb~I(1/dp)+pe,data=YD)
summary(M)
D<-1:50
Pr<-predict(M,newdata=data.frame(dp=D,pe="MA"))
lines(D,Pr,col="red")
Pr<-predict(M,newdata=data.frame(dp=D,pe="KU"))
lines(D,Pr,col="magenta")
Pr<-predict(M,newdata=data.frame(dp=D,pe="KS"))
lines(D,Pr,col="blue")
Pr<-predict(M,newdata=data.frame(dp=D,pe="HB"))
lines(D,Pr,col="green")
Pr<-predict(M,newdata=data.frame(dp=D,pe="RE"))
lines(D,Pr,col=Plvarv("RE"))

```

```

DK<-20

plot(NULL,xlab="Diameeter (cm)",ylab="Kõrgus (m)",xlim=c(0,50),ylim=c(0,40))

grid()

a<-0.335+0.188*log(DK)
b<-0.275+1.196/DK
curve(1.3+(x/(a+b*x))^3,0,50,col=Plvarv("MA"),add=T)


a<-0.587+0.188*log(DK)
b<-0.263+1.196/DK
curve(1.3+(x/(a+b*x))^3,0,50,col=Plvarv("KU"),add=T)


a<-0.039+0.188*log(DK)
b<-0.333+1.196/DK
curve(1.3+(x/(a+b*x))^3,0,50,col=Plvarv("RE"),add=T)


a<-0.159+0.188*log(DK)
b<-0.254+1.196/DK
curve(1.3+(x/(a+b*x))^3,0,50,col=Plvarv("HB"),add=T)


a<-0.279+0.188*log(DK)
b<-0.249+1.196/DK
curve(1.3+(x/(a+b*x))^3,0,50,col=Plvarv("KS"),add=T)


# Uurime pisut Näsluni kõrguskõvera käitumist


NK<-read.csv2("nkmudel.csv",stringsAsFactors = F)

for (i in 1:7) {

  plot(NULL,xlab="Diameeter (cm)",ylab="Kõrgus
(m)",xlim=c(0,50),ylim=c(0,40),main=NK[i,1])

  for (DK in 1:10*5){

```

```

a<-NK[i,2]+0.188*log(DK)
b<-NK[i,3]+1.196/DK
curve(1.3+(x/(a+b*x))^3,0,50,col=Plvarv(NK[i,1]),add=T)
points(DK,1.3+(DK/(a+b*DK))^3,col=Plvarv(NK[i,1]),pch=20)
}
}

# Kas mudel paraneb, kui Näslundi a ja b dp-kordaja sõltuks puuliigist

# Lihtsam mudel
Ma<-lm(nka~log(dp)+pe,data=YD)
summary(Ma)
Mb<-lm(nkb~I(1/dp)+pe,data=YD)
summary(Mb)

# Keerulisem mudel
MMa<-lm(nka~log(dp)*pe,data=YD)
summary(MMa)
MMb<-lm(nkb~I(1/dp)*pe,data=YD)
summary(MMb)
anova(Ma,MMa)
anova(Mb,MMb)
AIC(Ma,MMa)
AIC(Mb,MMb)

#####
#####

# Siit alates vaatame ainult neid proovitükke, kus peapuuliigi kõrgusi on mõõdetud
# kõigil mõõtmistel vähemalt 6 korral

#####
#####

```

```

YD6<-subset(YD,nhp>=6)
X<-aggregate(kord~prt,YD6,length)
names(X)[2]<-"kordi"
YD6<-merge(YD6,X)
X<-aggregate(kord~prt,YD6,max)
names(X)[2]<-"mxkord"
YD6<-merge(YD6,X)
YD6<-subset(YD6,kordi==mxkord)
YD6<-subset(YD6,kordi>1)
YD6<-droplevels(subset(YD6,pev%in%c("MA","KU","KS","HB","LM","LV")))
table(YD6$kord)

# Võtame ainult I rinde puud valitud proovitükkidelt (YD6)
P16<-merge(P1,subset(YD6,select=c(prt,aasta)))
PP6<-subset(P16,as.character(pl)==as.character(pev))

# Arvutame peapuuliigi keskmise kõrguse
YD6<-merge(YD6,NK,by.x="pev",by.y="PL")
YD6$hp<-with(YD6,1.3+(dp/(nka+nkb*dp))^3)
YD6$pev<-factor(YD6$pev,levels=c("MA","KU","KS","HB","LM","LV"))

png("hp-dp.png",width=900,height=1500)
par(mfrow=c(3,2),cex=1.3)
for (i in c("MA","KU","KS","HB","LM","LV")) {
  plot(hp~dp,subset(YD6,pev==i),col=Plvarv(pev),pch=20,
    xlim=c(0,50),ylim=c(0,50),main=as.character(i),
    xlab="Peapuuliigi diameeter (cm)",
    ylab="Peapuuliigi kõrgus (m)")
  grid()
}

```

```

}
dev.off()

png("hp-vanus.png",width=1000,height=1500)
par(mfrow=c(3,2),cex=1.3)
for (i in c("MA","KU","KS","HB", "LM","LV")) {
  plot(NULL, xlim=c(0,200),ylim=c(0,40),main=as.character(i),
    xlab="Peapuuliigi vanus (aasta)",
    ylab="Peapuuliigi keskmine kõrgus (m)")
  grid()
  for (j in unique(subset(YD6,pev==i))$prt){
    X<-subset(YD6,prt==j)
    X<-X[order(X$vanus),]
    lines(hp~vanus,X,col=Plvarv(pev))
  }
}
dev.off()

```

```
#####
```

```
# Ülakõrgus
```

```
#####
```

```
par(mfrow=c(1,1))
```

```
with(YD6,hist(100*pindala/n1))
```

```
YD6$top<-with(YD6,100*pindala/n1)
```

```
YD6$dtop<-NA
```

```
YD6$dtopp<-NA
```

```
for (i in 1:nrow(YD6)){
```

```
  X<-subset(P16,prt==YD6$prt[i] & aasta==YD6$aasta[i])
```



```

Q<-quantile(X$d1,1-YD6$top[i])
YD6$dtop[i]<-with(subset(X,d1>Q),mean(d1))
YD6$dtopp[i]<-with(subset(X,d1>Q & as.character(pl)==as.character(pev)),mean(d1))
}

```

```

plot(dtop~dp,data=YD6)
abline(0,1,col="red")

```

```

plot(dtopp~dp,data=YD6)
abline(0,1,col="red")

```

```

YD6$htopp<-with(YD6,1.3+(dtopp/(nka+nkb*dtopp))^3)

```

```

plot(htopp~hp,data=YD6)
abline(0,1,col="red")

```

```

MT1<-lm(htopp~hp,data=YD6)
summary(MT1)

```

```

MT2<-lm(htopp~hp+pev,data=YD6)
summary(MT2)
anova(MT1,MT2)
AIC(MT1,MT2)

```

```

MT3<-lm(htopp~hp+pev+vanus,data=YD6)
summary(MT3)
anova(MT2,MT3)
MT4<-lm(htopp~hp+pev+g1ha,data=YD6)
summary(MT4)

```

```
anova(MT2,MT4)
```

```
AIC(MT2,MT4)
```

```
MT5<-lm(htopp~hp*pev+g1ha,data=YD6)
```

```
summary(MT5)
```

```
anova(MT5)
```

```
anova(MT2,MT5)
```

```
anova(MT4,MT5)
```

```
AIC(MT2,MT5)
```

```
MT6<-lm(htopp~hp*pev+n1ha,data=YD6)
```

```
summary(MT6)
```

```
AIC(MT5,MT6)
```

```
# Kas dp mõjutab
```

```
# Kas peapuuliigi osatähtsus mõjutab
```

```
#####
```

```
# Urime, mis juhtub puudega mõõtmiste vahelise perioodi jooksul
```

```
#####
```

```
# Ühendame paarikaupa puude mõõtmised (ka raie ja surnud)
```

```
P1kk<-data.frame(NULL)
```

```
P6<-merge(P,subset(YD6,select=c(prt,aasta,kord)))
```

```
for (i in 1:5){
```

```
  X<-subset(P1,kord==i)
```

```
  XX<-subset(P6,kord==i+1)
```

```
  names(XX)[c(2,4:12)]<-toupper(names(XX)[c(2,4:12)])
```

```
  XXX<-merge(X,XX)
```

```

P1kk<-rbind(P1kk,XXX)
}

P1kk<-droplevels(P1kk)
table(P1kk$RIN)
# Raiutav G eelne
X<-aggregate(I(d^2)~prt+aasta,data=subset(P1kk,RIN=="K"),sum)
names(X)[3]<-"d2k"
YD6<-merge(YD6,X,all.x=TRUE)
YD6$g1hak<-with(YD6,pi*d2k/40000/pindala)
hist(YD6$g1hak)
plot(g1hak~g1ha,data=YD6)
plot(I(g1hak/g1ha)~g1ha,data=YD6)
YD6$g1hak<-with(YD6,ifelse(is.na(g1hak),0,g1hak))

# Kui mitmel mõõtmisel on väljaraie enam kui 10%
nrow(subset(YD6,g1hak/g1ha>0.1))

# Ühendame paarikaupa proovitükkide mõõtmised

YD6kord<-data.frame(NULL)
for (i in 1:5){
  X<-subset(YD6,kord==i)
  XX<-subset(YD6,kord==i+1)
  names(XX)[2:44]<-toupper(names(X)[2:44])
  XXX<-merge(X,XX)
  YD6kord<-rbind(YD6kord,XXX)
}
YD6kord$Hr<-with(YD6kord,factor(ifelse(g1hak/g1ha>0.05,"HR","0R")))

```

```

table(YD6kord$Hr)

png("JN_Kõrguse muutus_HR.png",height=1000,width=1500)

par(mfrow=c(1,2),cex=2)

boxplot(I(HP-hp)~Hr, data=YD6kord,varwidth=T,notch=T,ylim=c(-2,6),ylab="Keskmise
kõrguse muutus (m)",
      cex=0.6,main="A")

boxplot(I(HTOPP-htopp)~Hr, data=YD6kord,varwidth=T,notch=T,ylim=c(-
2,6),ylab="Ülakõrguse muutus (m)",
      cex=0.6,main="B")

par(mfrow=c(1,1))

dev.off()

summary(lm(I(HTOPP-htopp)~Hr, data=YD6kord))

summary(lm(I(HP-hp)~Hr, data=YD6kord))

# võtame ainult meeste andmed 5 aasta intervalliga

MA<-subset(YD6kord,pev=="MA" & VANUS-
vanus==5,select=c(prt,aasta,pev,kord,kktr,g1ha,vanus,hp,htopp,
      AASTA,KORD,VANUS,G1HA,HP,HTOPP,Hr))

table(MA$Hr)

table(MA$VANUS-MA$vanus)

hist(MA$g1ha)

plot(g1ha~vanus,data=MA)

table(MA$kktr)

MA$ohor<-with(MA,ifelse(kktr%in% c("Palu","Nõmme","Laane"),4,ifelse(kktr=="Loo",2,
      ifelse(kktr%in%c("Sooviku","Rabastuv"),10,50))))

with(MA,table(kktr,ohor))

# Keskmise kõrguse prognoos Eesti diferentsmudeliga

MA$HPy<-with(MA,H.mdl.9.1(vanus,VANUS,hp,0,ohor)) #Keskmise kõrguse kasv mudeli
järgi

```

```

MA$HPe<-with(MA,HP-HPy)                                # Keskmise juurde kasv andmete järgi
plot(HPy~HP,data=MA, ylab="Keskmise kõrguse prognoos (m)",
     xlab = "Mõõtmistulemuste alusel arvatud keskmine kõrgus (m)")
abline(0,1,col="red",lwd=2)

boxplot(HPe~Hr,data=MA,varwidth=T,notch=T ,ylab="Männikute keskmise kõrguse
prognoosi viga (m)") #andmete juurdekasvu erinevus ja HR mõju

M<-lm(HPe~Hr,data=MA)

summary(M)

MA$i5hp<-with(MA,HP-hp)
MA$i5hpy<-with(MA,HPy-hp)
plot(i5hp~hp,data=MA,col="blue")
points(i5hpy~hp,data=MA,col="red")

MA$HTOPPy<-with(MA,H.Rootsi.MA(vanus,htopp,VANUS))
MA$HTOPPe<-with(MA,HTOPP-HTOPPy)
plot(HTOPPy~HTOPP,data=MA, ylab="Ülakõrguse prognoos (m)",
     xlab = "Mõõtmistulemuste alusel arvatud ülakõrgus (m)",
     xlim=c(5,40),ylim=c(5,40))
abline(0,1,col="red",lwd=2)

boxplot(HTOPPe~Hr,data=MA,varwidth=T,notch=T, ylab="Männikute ülakõrguse prognoosi
viga (m)")

M<-lm(HTOPPe~Hr,data=MA)

summary(M)

MA$i5htopp<-with(MA,HTOPP-htopp)
MA$i5htoppy<-with(MA,HTOPPy-htopp)
plot(i5htopp~htopp,data=MA,col="blue")
points(i5htoppy~htopp,data=MA,col="red")

```

Mina, _____,
(*autori nimi*)

sünniaeg _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

_____,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on _____,
(*juhendaja(te) nimi*)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
- kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, _____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)